



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO FACULTAD DE INGENIERÍA

CATEDRA: MECANICA APLICADA

UNIDAD 08: RODAMIENTOS

Preparó: Ing. Sebastian M. Lazo

slazo@fing.uncu.edu.ar

Revisó: Ing. Carlos Barrera

cbarrera@fing.uncu.edu.ar

Agosto 2016

INDICE

1.	Introducción	4
1.1.	Comparación entre rodamientos y cojinetes	4
2.	Tipos de cojinetes de acuerdo a la lubricación	5
2.1.	Lubricación hidrodinámica	5
2.2.	Lubricación hidrostática.....	5
2.3.	Lubricación elastohidrodinamica.....	5
2.4.	Lubricación de capa limite.....	5
2.5.	Lubricación de película solida	5
2.6.	Cojinetes autolubricados	5
3.	Viscosidad absoluta y viscosidad cinemática de los lubricantes	6
4.	Rodamientos	8
4.1.	Tipos de rodamientos	8
4.2.	Cargas soportadas por los rodamientos.....	10
4.3.	Designación de los rodamientos	11
4.4.	Comparativa de rodamientos	13
4.5.	Jaulas.....	14
4.5.1.	Tipos de jaulas	14
4.6.	Sellos.....	15
4.6.1.	Rodamientos con tapas de obturación.....	15
4.6.2.	Rodamientos sin tapas de obturación.....	17
4.7.	Juego radial de los rodamientos.....	19
4.8.	Juego de funcionamiento	20
4.9.	Disposición	21
4.9.1.	Disposiciones de rodamientos fijo- libre	21
4.9.2.	Disposiciones de rodamientos ajustados.....	24
4.9.2.1.	Precarga de rodamientos en disposición ajustada.....	24
4.9.2.1.	Disposición en “X” y en “O”	25
4.9.3.	Disposiciones de rodamientos “libres” (también llamada flotante).....	25
4.10.	Montaje y Desmontaje (ver manual de montaje FAG).....	26
4.10.1.	Preparación	26
4.10.2.	Montaje en frio.....	26
4.10.3.	Montaje en caliente	27
4.11.	Lubricación	28
4.12.	Lubricación a Grasa	28
4.13.	Lubricación a Aceite	28
5.	Selección del rodamiento y calculo de vida.....	31
5.1.	Criterios de elección	31

5.2.	Definiciones	31
5.3.	Verificación bajo carga estática	32
5.4.	Verificación bajo carga dinámica: Cálculo de la duración de vida.....	33
5.4.1.	Duración de vida nominal.....	36
5.4.1.1.	Cálculo de la carga equivalente sobre el rodamiento.....	37
5.4.2.	Duración de vida nominal modificada.....	37
5.4.3.	Duración de vida SKF.....	38
5.5.	Duración de funcionamiento.....	46

Nota: la siguiente simbología indica los ítems revisados desde el apunte del año anterior.



1. Introducción

El propósito fundamental de una **unión deslizante** es soportar una carga entre una 2 piezas que tienen movimiento relativo entre sí. Dicho movimiento es de **rotación**. Por lo general, una de las partes se encuentra estacionaria (usualmente cárter, caja, bastidor, etc) y una parte móvil (por ejemplo un árbol) con un mínimo de resistencia y un mínimo de pérdidas por fricción.

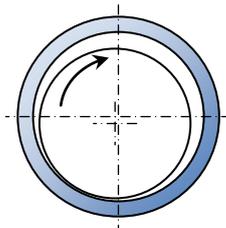
Las uniones deslizantes pueden clasificarse de acuerdo a 2 criterios: en función de cómo es el **contacto** entre ambas partes, y en función del **tipo de lubricación**. De acuerdo al contacto:

- Cojinetes de contacto rodante (Rodamientos)
- Cojinetes de contacto deslizando (lubricados y autolubricados)

Las cargas pueden ser debidas a:

- Masa de los componentes
- Transmisión de potencia

La clasificación de acuerdo al tipo de lubricación se analizará en el capítulo 2.



COJINETE DE CONTACTO DESLIZANTE
 (o simplemente COJINETE)

Figura 1-1



COJINETE DE CONTACTO RODANTE
 (o simplemente RODAMIENTO)

Figura 1-2

1.1. Comparación entre rodamientos y cojinetes

Las ventajas del rodamiento son:

- Bajo momento al arranque y durante la operación.
- Baja fricción en bajas y altas revoluciones
- Menos sensibles ante una falta de lubricante
- Buen arranque a bajas temperaturas.
- Bajo consumo de energía
- Soportan cargas combinadas
- Ocupan poco espacio en sentido axial
- Bajo consumo de lubricante
- En el caso de rodamientos sellados, no se requiere lubricarse.

Las ventajas del cojinete son:

- Se dimensionan de acuerdo a la necesidad.
- No fallan por fatiga (su vida no está limitada por las horas de uso)
- Ocupan poco espacio en sentido radial

2. Tipos de cojinetes de acuerdo a la lubricación

La clasificación de los diferentes tipos de cojinetes la realizaremos en función del tipo de lubricación. Se identifican 6 tipos de lubricación:

- Hidrodinámica
- Hidrostática
- Elastohidrodinamica
- De capa limite
- De película solida
- Autolubricacion

2.1. Lubricación hidrodinámica

Se produce cuando las superficies del muñón y del cojinete están separadas por una capa de lubricante relativamente gruesa, de manera que se impide el contacto directo entre metal y metal. La lubricación hidrodinámica no depende de la inyección de lubricante a presión, aunque ello puede ocurrir; pero si requiere de la existencia adecuada de un suministro continuo. La presión en la capa de lubricante la crea la propia superficie en movimiento al arrastrar el material, hacia una zona cuneiforme, formando lo que se conoce como cuña hidrodinámica, a una velocidad suficientemente elevada que origine la presión necesaria para separa las superficies en contacto contra la carga del cojinete.

2.2. Lubricación hidrostática

Se obtiene introduciendo el lubricante, que a veces es aire o agua, en el área del soporte de carga, a una presión lo bastante elevada para separar las superficies con una capa relativamente gruesa de lubricante. Así, a diferencia con la lubricación hidrodinámica, no requiere del movimiento o de una velocidad elevada de una superficie respecto a la otra.

2.3. Lubricación elastohidrodinamica

Es el fenómeno que ocurre cuando se introduce un lubricante entre superficies que están en contacto rodante, como los engranes y los cojinetes de rodadura (rodamientos) Su explicación matemática requiere de la teoría de Hertz del esfuerzo de contacto y de la mecánica de los fluidos.

2.4. Lubricación de capa limite

Este tipo de lubricación de origina en cojinetes de lubricación hidrodinámica, cuando se produce alguno de estos efectos: disminución de la velocidad de rotación, reducción de la cantidad de lubricante suministrado, aumento de la carga, o elevación de temperatura con la consecuente disminución de viscosidad del lubricante. Cualquiera de estas condiciones impide la formación de una película gruesa de lubricante, entonces, las asperezas de mas altura de los materiales quedan separadas por una película de solo unos cuantos diámetros moleculares de espesor.

2.5. Lubricación de película solida

Cuando los cojinetes deben operar a temperaturas extremas, se utiliza un lubricante solido, como el grafito o el disulfuro de molibdeno, porque los aceites ordinarios de origen mineral no dan resultados satisfactorios.

2.6. Cojinetes autolubricados

Pueden ser de los siguientes materiales:

- Metálicos: en general son de cobre-estaño o hierro-cobre, con porosidades del 15 al 30% del volumen, con un lubricante incorporado en éstas (aceite, grafito, etc.). Pueden funcionar hasta 13 m/s. Estos se fabrican por proceso

de sinterizado, comprimiendo el polvo de los metales, luego sinterizando a temperatura comprendida entre los puntos de fusión de ambos metales. Esto da como resultado un material poroso, que luego es impregnado con el lubricante.

- Polímeros: Son utilizados cuando se necesita una gran resistencia química (ácidos, bases, etc.), tienen la desventaja de que no presentan una buena evacuación del calor. El más simple y económico es el nylon, que también se le adiciona grafito o disulfuro de molibdeno. El teflón reforzado con fibra de vidrio provee mejores características mecánicas, soporta mayor temperatura, y tiene un factor de fricción menor. También se impregna con grafito o disulfuro de molibdeno.
- Compuestos: otro tipo de cojinete lubricado se fabrica a partir de carbón y grafito.

3. Viscosidad absoluta y viscosidad cinemática de los lubricantes

Cuando existe la lubricación de película gruesa la fuerza de rozamiento que resiste el movimiento relativo es independiente de la naturaleza de las superficies apareadas y es más afectada por la **viscosidad** que por cualquier otra variable. Consideremos un elemento de un fluido entre dos superficies una de las cuales *M* se mueve con velocidad constante.

Una capa de fluido se adhiere a la superficie *M* y se mueve con respecto a la capa siguiente, y así hasta que la capa en contacto con la superficie *N* se adhiere a ella y se mantiene estacionaria. Supongamos que la superficie de fondo del elemento *E* se mueve con velocidad *v*, y que la superficie superior, separada una distancia *dh*, se mueve con velocidad *v+dv*; así, la diferencia entre estas velocidades es *dv*. Entre sus geniales contribuciones a la ciencia, Isaac Newton (1642-1727) enunció la ley según la cual el esfuerzo cortante *F/A* en un fluido es proporcional al gradiente de velocidad *dv/dh*;

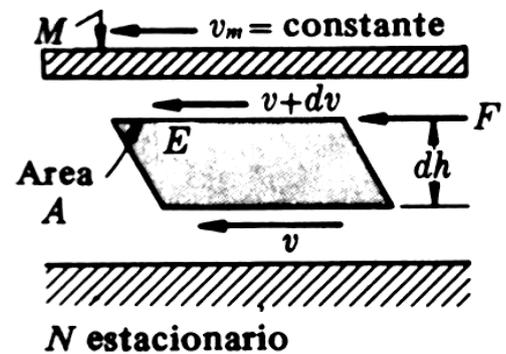


Figura 3-1

$$\frac{F}{A} = \mu \cdot \frac{dv}{dh} \Rightarrow F = \frac{\mu \cdot A \cdot v}{h} \quad [\text{Fluido Newtoniano}]$$

donde *A* es el área del fluido sometida a cizalladura, y μ es la constante de proporcionalidad, llamada **viscosidad absoluta**, o simplemente **viscosidad del fluido**. La segunda forma de la ecuación es aplicable cuando el gradiente de velocidad *dv/dh* se puede considerar constante. De la ecuación se deduce que la fuerza de rozamiento *F* que corta al fluido aumenta cuando la viscosidad μ o bien *dv/dh* aumentan.

En el sistema de unidades ingles en el proyecto de cojinetes se acostumbra a utilizar el **reyn** (llamada así en honor a Osborne Reynolds) que es una unidad compatible con la ecuación anterior en la cual se utilizan pulgadas, segundos y libras para la fuerza. En el sistema cgs se emplea el **poise**, haciendo uso de dinas, centímetros y segundos, también **centipoise** (centésima parte del poise). En el SI la unidades usadas son newton, metro y segundo. Dimensionalmente y con estas unidades, tenemos:

$$\mu = \frac{F \cdot h}{A \cdot v} = \frac{[\text{fuerza}] \cdot [\text{distancia}]}{[\text{distancia}^2] \cdot [\text{distancia/tiempo}]} = \frac{[lb] \cdot [in]}{[in^2] \cdot [in/s]} = \left[\frac{lb \cdot s}{in^2} \right] = \text{reyn}$$

$$\mu = \frac{F \cdot h}{A \cdot v} = \frac{[N] \cdot [m]}{[m^2] \cdot [m/s]} = \left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right] = Pa \cdot s$$

$$\mu = \frac{F \cdot h}{A \cdot v} = \frac{[dyn] \cdot [cm]}{[cm^2] \cdot [cm/s]} = \left[\frac{dyn \cdot s}{cm^2} \right] = \text{poise}$$

Reemplazando *dina* por *g.cm/s²*, nos queda:

$$\mu = \frac{F \cdot h}{A \cdot v} = \frac{[g \cdot cm / s^2] \cdot [cm]}{[cm^2] \cdot [cm / s]} = \left[\frac{g}{s \cdot cm} \right] = \text{poise}$$

Las constantes de conversión correspondientes son:

$$6,9 \times 10^{-6} \frac{\text{centipoise}}{\text{reyn}} \qquad 6,9 \frac{\text{centipoise}}{\text{microreyn}} \qquad 6890 \frac{\text{Pa} \cdot s}{\text{reyn}}$$

La siguiente tabla resume las unidades usadas para viscosidad en los diferentes sistemas:

Sistema de Unidades	Viscosidad Absoluta	Viscosidad Cinemática
Internacional	N-s/m ² o Pa-s	m ² /s
CGS	dyn-s/cm ² o centiPoise	cm ² /s o Stoke
Inglés	lbf-s/pul ² o Reyn	pul ² /s

Tabla 1

La figura 4 muestra las diferentes viscosidades en función de la temperatura para aceites comerciales. Como referencia, un aceite multigrado SAE 10W-30 tiene una viscosidad poco menor que sae 30 a 99°C (210°F) y un poco mayor que SAE 10 a 37,8°C (100°F). Con el mismo criterio, la curva correspondiente esta dibujada en línea de trazos, y la curva correspondiente al SAE 20W-50 dibujada en línea de centro.

La **viscosidad cinemática** equivale a relacionar la viscosidad absoluta por la densidad del lubricante. Las magnitudes de la viscosidad cinemática son longitud²/tiempo, y su unidad es el **centistoke**:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = 0,22 \cdot t - \frac{180}{t} [\text{centistokes}]$$

En la fórmula anterior, *t* representa el tiempo en segundos, denominado segundos Saybolt universal (SUV), y todas las propiedades corresponden a la misma

temperatura. Los SUV se obtienen por método ASTM, y corresponde al tiempo que demora 60 cm³ de lubricante a escurrir a través de un tubo de 1,76 mm de diámetro y 12,25 mm de longitud, a una temperatura determinada.

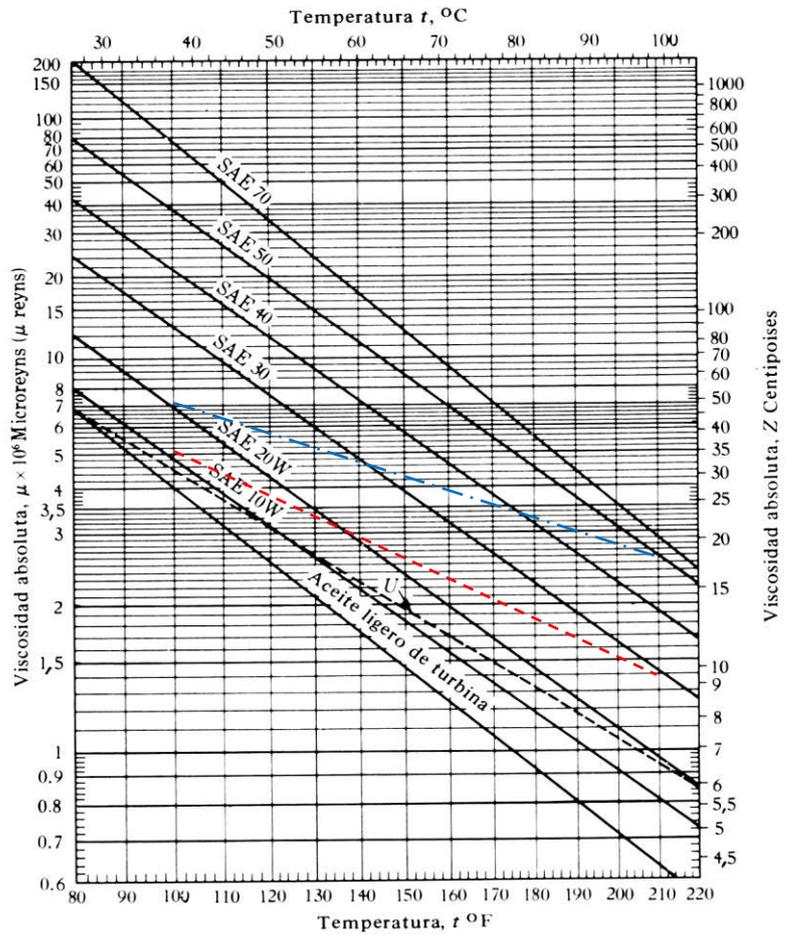


Figura 3-2: Gráfica de viscosidad absoluta en función de la temperatura, para aceites grado SAE.

4. Rodamientos

Elementos de los rodamientos

SELLOS: Protegen al rodamiento de la contaminación externa, y evitan que se escape el lubricante.

ANILLO EXTERIOR: Generalmente está montado en el bastidor y es la parte no rotante. Contiene la pista de rodadura externa sobre la cual ruedan los elementos rotantes.

ANILLO INTERIOR: Está montado en el eje y es generalmente la parte rotante. Es la pista donde ruedan los elementos rotantes, ésta puede ser cilíndrica, toroidal o cónica.

ELEMENTOS RODANTES: Pueden ser bolillas, agujas, cilindros, cilindros cónicos o cilindros de rotula. Estos rotan entre los anillos y transmiten la carga actuante en el rodamiento; estos elementos están separados por una delgada capa de lubricante con respecto a las pistas de rodadura.

JAULA: Es la encargada de mantener una separación constante y equidistante entre los elementos rodantes.

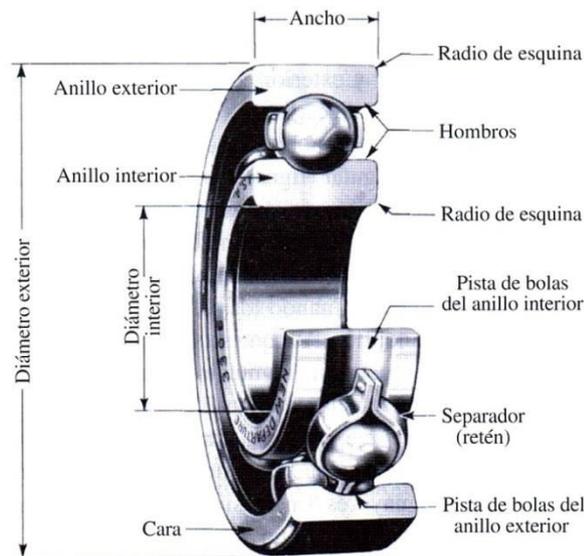


Figura 4-1-1: Rodamiento de bolas rígido de 1 hilera

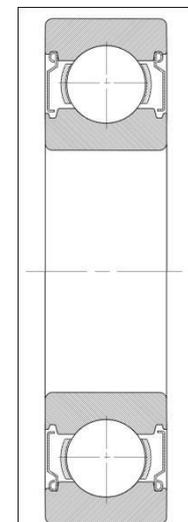


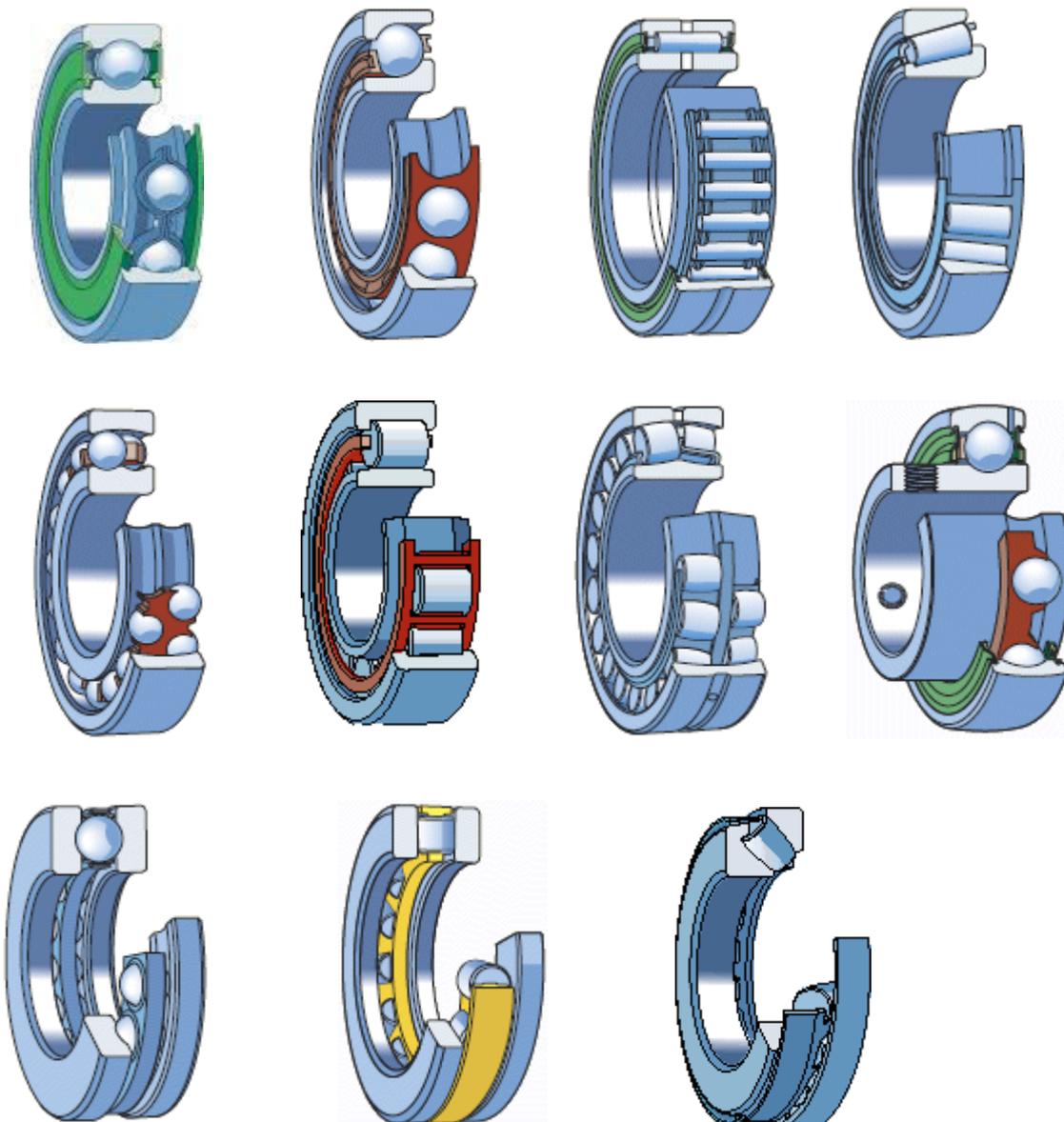
Figura 5-2: Corte normalizado rodamiento de bolas de una hilera, con sellos.

4.1. Tipos de rodamientos

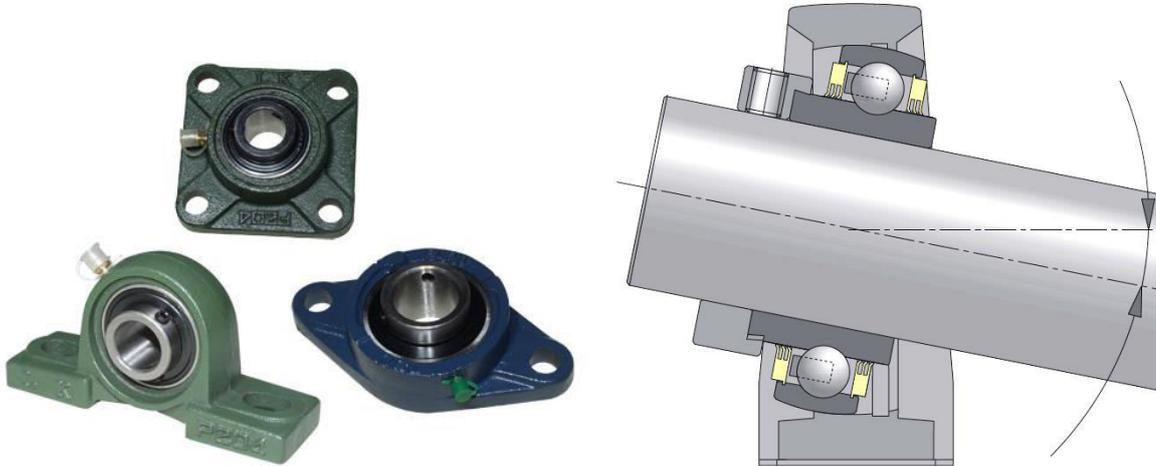
- a. **Rodamiento rígido de una hilera de bolas:** Es el más común, simple, no desarmable, capaz de operar a altas revoluciones, y de bajo mantenimiento. Pueden ser abiertos o sellados.
- b. **Rodamientos de bolas de contacto angular:** Las pistas de los anillos proveen capacidad para soportar cargas en la dirección del eje del rodamiento. Los más usados son: de una hilera de bolas y de doble hilera.
- c. **Rodamientos de aguja:** Las agujas son rodillos que poseen un diámetro pequeño en relación a su largo. Debido a la pequeña sección de las agujas pueden soportar altas cargas a la vez que necesitan poco espacio para ser colocados.
- d. **Rodamientos de rodillos cónicos:** Tienen ambas pistas cónicas por donde deslizan rodillos cónicos. Son especialmente recomendables para cargas combinadas. Son desarmables.
- e. **Rodamientos de bolas a rótula con agujeros cilíndrico o cónico:** Tienen dos pistas en el anillo interior y una pista común en el anillo exterior, esto da la propiedad de ser autoalineante permitiendo el desalineamiento angular entre el eje y el alojamiento.
- f. **Rodamientos de rodillos cilíndricos:** Tienen rodillos guiados por pestañas en el anillo interior. Se puede separar el anillo interior de la jaula de rodillos y del anillo exterior para facilitar el montaje y desmontaje.

Pueden soportar grandes cargas radiales y altas velocidades. Cuando son completamente llenos de rodillos (sin jaula) tienen una capacidad de carga radial extremadamente alta.

- g. **Rodamientos de rodillos a rótula:** Tienen dos pistas interiores inclinadas respecto del eje del rodamiento. Son autoalineantes y pueden soportar cargas axiales en ambas direcciones.
- h. **Rodamientos Y:** Están basados en la serie 62 y 63. Varían según su modo de fijación, por prisioneros, chavetas, interferencia, etc.
- i. **Rodamientos axiales de bolas:** Pueden soportar cargas axiales, son rígidos, requieren poco espacio axial. Pueden soportar la carga axial en una sola dirección.
- j. **Rodamientos axiales de rodillos cilíndricos:** Pueden soportar fuertes cargas axiales, son rígidos, requieren poco espacio axial y pueden soportar cargas de choque. Pueden soportar la carga axial en una sola dirección.
- k. **Rodamientos axiales de aguja:** Pueden soportar grandes cargas axiales y son insensibles a los choques a la vez que requieren mínimo espacio axial. Son de un simple efecto.
- l. **Rodamientos axiales de rodillos a rotula:** Pueden soportar fuertes cargas axiales, pero a diferencia de los 3 precedentes, éstos permiten desalineación del eje. Pueden soportar la carga axial en una sola dirección.

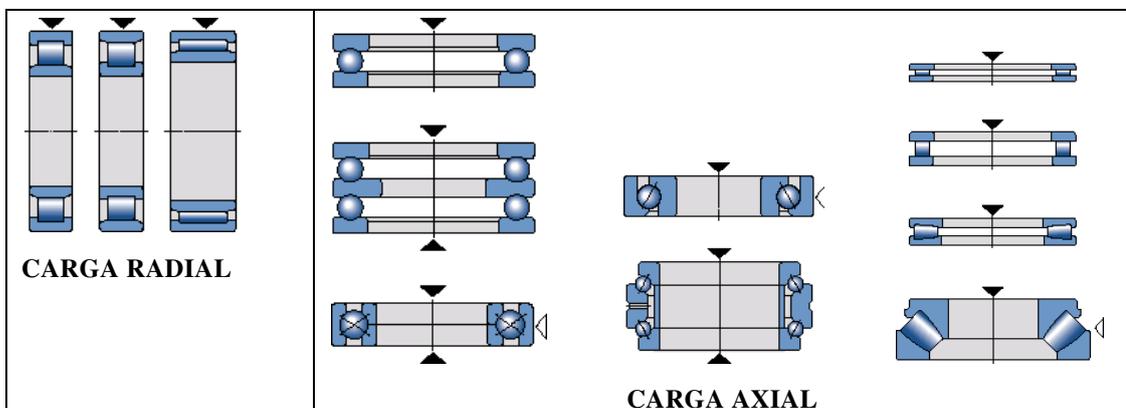


- m. **Portarodamientos:** son cajas fabricadas usualmente en fundición de hierro como también en chapa de acero estampada, y facilitan el montaje en maquinaria. Suelen tener agujeros para relubricación. Se fabrican para montaje radial (partidos y enteros) y para montaje axial (tipo brida). Pueden tener sellos rozantes o no rozantes. Su principal característica es que son **autoalineables**.



4.2. Cargas soportadas por los rodamientos

- ❖ **Magnitud de la carga:** es el factor con el que usualmente se determina el tamaño de los rodamientos. Generalmente los de rodillos soportan más carga que los de bolas, para las mismas dimensiones. También los completamente llenos soportan más carga que los con jaula.
- ❖ **Carga Radial:** es cuando la carga está en dirección perpendicular al eje, y pasa por el centro del rodamiento. Con excepción de los rodamientos de rodillos sin flancos (tipos NU y N) y los radiales de aguja, todos pueden soportar alguna carga axial.
- ❖ **Carga Axial:** es cuando la carga tiene la dirección del eje del rodamiento, los más usados son: el rodamiento a bolas de contacto angular, de bolas a rótulas, rodamientos axiales y rodamientos cónicos.
- ❖ **Carga Combinada:** Una carga combinada consta de una carga radial y una carga axial que actúan simultáneamente. La capacidad que tiene un rodamiento para soportar una carga axial está determinada por su ángulo de contacto " α "; cuanto mayor es dicho ángulo, más adecuado es el rodamiento para soportar cargas axiales.



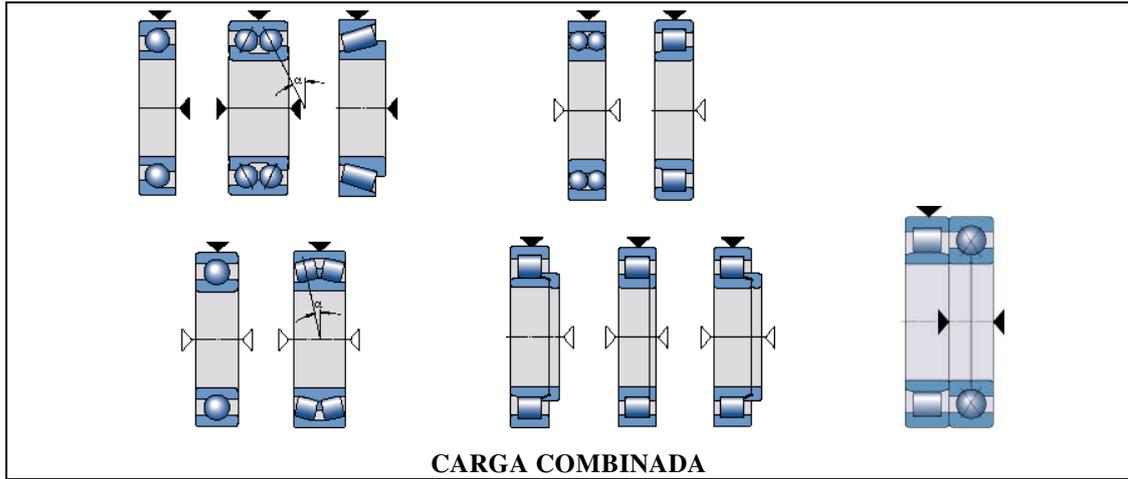


Figura 4-2

4.3. Designación de los rodamientos

La denominación se interpreta de la siguiente forma:

El primer carácter (puede ser número o letra) identifica el tipo de rodamiento.

El segundo y tercer carácter denotan la Serie de Dimensiones, donde el primer carácter de la serie denota Serie de Anchos o de Altos y el segundo la Serie de Diámetros.

Los dos últimos caracteres indican el diámetro interior (en mm) multiplicado por 5 excepto en los siguientes casos:

1. Los diámetros menores de 10mm y mayores que 500 mm, se indican luego de la barra “/” (ej. 619/8). La barra no es usada para pequeños rodamientos (ej.609).
2. Para rodamientos con diámetros interiores 10mm, 12 mm, 15 mm y 17 mm, los dos últimos caracteres son 00, 01, 02 y 03.

Serie de rodamientos

223	544	6(0)4	(0)4
213	524	623	33
232	543	6(0)3	23
222	523	6(0)2	(0)3
241	542	630	22
231	522	6(1)0	12
240	323	16(0)0	(0)2
230	313	534	31
249	303	514	60
249	303	533	30
139	239	513	20
130	248	532	10
(1)23	322	512	50
1(0)3	302	511	40
(1)22	294	510	30
(0)33	1(0)2	293	29
(0)32	1(1)0	292	19
	4(2)3	591	69
	4(2)2	590	12
	607	708	(0)2
	7(0)4	814	10
	7(0)3	894	50
	7(0)2	874	40
	7(1)0	813	30
	719	893	29
	718	812	19
	708	811	38
			49
			28
			18
			48
			19
			41
			31
			60
			20
			10
			50
			40
			39
			40
			23
			(0)3
			30
			69
			19
			38
			49
			39
			10
			48
			19

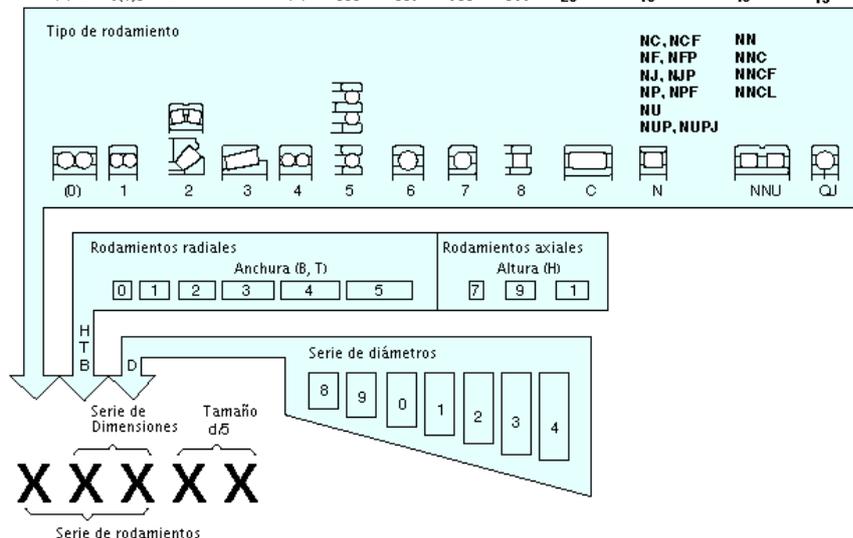
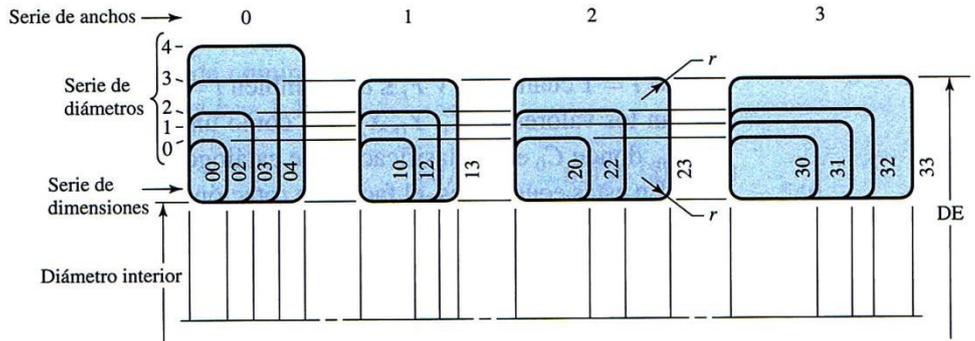


Figura 4-3

Tabla de aclaración de las series de dimensiones (segundo y tercer dígito del código)

Plan básico de la ABMA* de las dimensiones límite. Se aplican a cojinetes de bolas, de rodillos cilíndricos y de rodillos esféricos, pero no a cojinetes de bolas de serie en pulgadas o de rodillos cónicos. El contorno de la esquina no se especifica. Se puede redondear o achaflanar, pero debe ser suficientemente pequeño para librar el radio del entalle especificado en las normas.



*AMBA: American Bearing Manufacturers Association

Figura 4-4: Aclaración del segundo y tercer dígito del código de rodamientos.

Ejemplos:

Un rodamiento 33207 es uno de Rodillos cónicos

Serie de anchos 3

Serie de diámetro 2

Diámetro interior $07 \cdot 5 = 35 \text{ mm}$

▼ Ejemplos para la denominación de la serie y del agujero del rodamiento en el signo básico según DIN 623

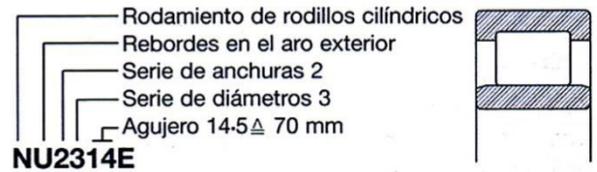
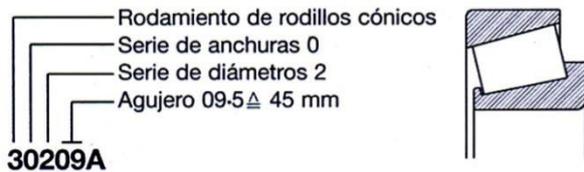
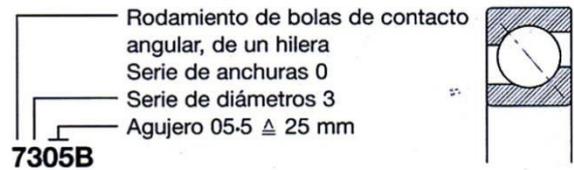
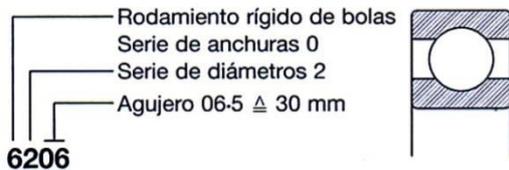


Figura 4-5

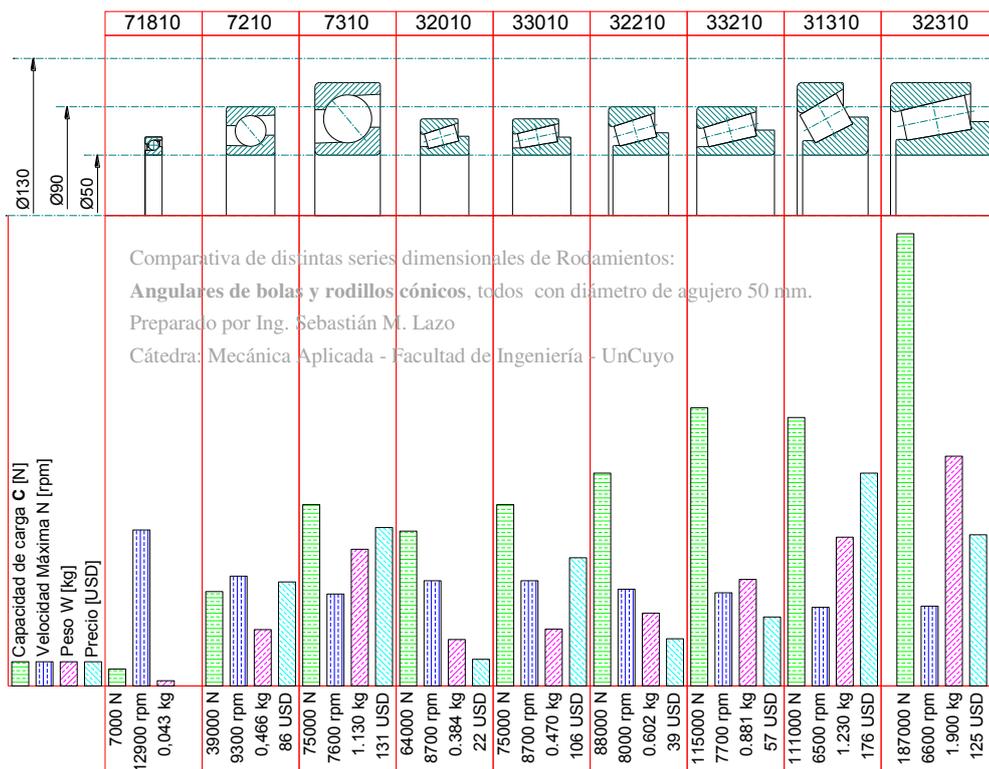
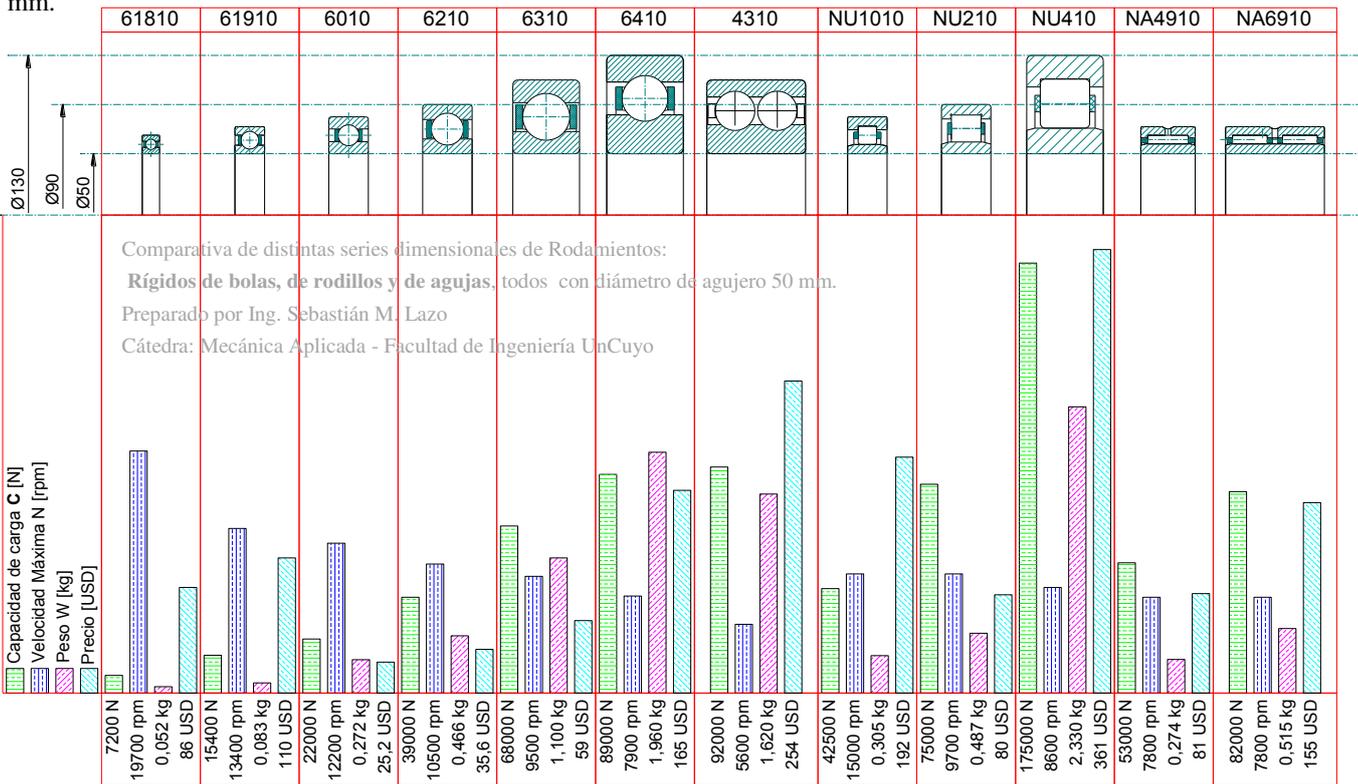
Ejercicios:

Determine las características de los siguientes rodamientos

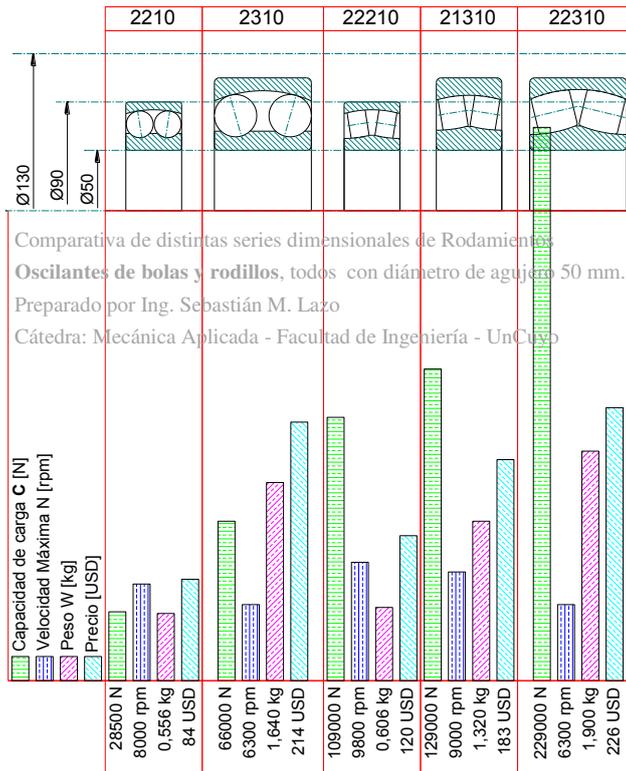
1. 1406
2. 7304
3. NU 202

2016 → **4.4. Comparativa de rodamientos**

A continuación, se muestran 3 interesantes tablas comparativas, con distintos tipos de rodamientos y tamaños; y la capacidad de carga, peso, velocidad máxima, y costo para cada uno. Se pueden obtener valiosas conclusiones de las clases de rodamientos, y sus características. El precio de los rodamientos corresponde a rodamientos SKF, en el distribuidor de la provincia de Mendoza. Por ejemplo, se aprecia gráficamente como aumenta la capacidad de carga entre los tipos de rodamientos y su tamaño. También es posible estudiar los códigos de cada tipo y sus series. Vale señalar que las barras de colores están a escala, para poder comparar gráficamente sus características. Se ha elegido rodamientos de diámetro de eje 50 mm.



2016



4.5. Jaulas

Las funciones más importantes de la jaula son:

- Separar los elementos rodantes, para mantener el rozamiento y la generación de calor lo más bajos posible
- Mantener la misma distancia entre los elementos rodantes, para que la carga se distribuya uniformemente
- En el caso de rodamientos desarmables y oscilantes, evitar que se caigan los elementos rodantes
- Guiar los elementos rodantes en la zona descargada del rodamiento.

4.5.1. Tipos de jaulas

Jaulas de chapa: Generalmente, estas jaulas se fabrican de acero y, para algunos rodamientos, también de latón. En comparación con las jaulas macizas de metal, tienen un peso menor. Como una jaula de chapa ocupa solamente una pequeña parte del espacio entre los anillos interior y exterior, el lubricante llega fácilmente al interior del rodamiento y se almacena en la jaula. Generalmente, una jaula de chapa de acero sólo se indica en la referencia del rodamiento si no está prevista como ejecución estándar del mismo.



Figura 4-6: Tipos de Jaulas metálicas para rodamientos

Jaulas macizas: Estas jaulas se fabrican de metal, de tejido duro y de plástico. Se reconocen por el código del rodamiento (los fabricantes usan su propia codificación, y se ubica como sufijo del código estándar)

Las jaulas macizas de **metal** se utilizan para requisitos superiores en cuanto a la resistencia de la jaula, así como para altas temperaturas. También se utilizan jaulas de **resinas fenolicas** para casos de ejes sometidos a velocidades elevadas, con el objeto de mantener reducidas las fuerzas de inercia. Las jaulas macizas de **poliamida 66** se fabrican mediante moldeo por inyección, de esta manera, se pueden realizar formas de jaulas que permiten construcciones con capacidades de carga especialmente elevadas. La elasticidad y el peso reducido de la poliamida son favorables en caso de cargas de impacto sobre el rodamiento, fuertes aceleraciones y desaceleraciones y de inclinaciones de los anillos, uno respecto al otro. Las jaulas de poliamida tienen excelentes propiedades deslizantes y obturantes. Las jaulas de **poliamida 66 reforzada con fibra de vidrio** son aptas para temperaturas constantes hasta +120 °C.



Figura 4-8



Figura 4-7

4.6. Sellos

Los sellos (u obturaciones) tienen una influencia enorme sobre la vida de servicio de una disposición de rodamientos. Su función es retener el lubricante en su interior y evitar el ingreso de contaminación a la zona de rodadura.

Los contaminantes tienen varios efectos:

- Un gran número de partículas finas **provocan abrasión y desgaste**, y generan un aumento en el juego y llevan a una reducción en la vida de servicio.
- Las partículas de mayor tamaño sometidas al paso de los elementos rodantes **disminuyen la vida a la fatiga**, ya que a elevadas cargas aumentan las picaduras y el descascaramiento del material en las pistas de rodadura.
- El agua (y otros compuestos químicos) generan corrosión en el material del rodamiento.

Se distinguen 2 tipos fundamentales: **obturaciones no rozantes (por laberinto)** y **obturaciones rozantes**. Algunos tipos de rodamientos tienen incorporadas las obturaciones (rodamientos rígidos de bolas), por uno o por ambos lados, pero la gran mayoría no posee. En estos casos, deben diseñarse sistemas de protección anexos al rodamiento.

4.6.1. Rodamientos con tapas de obturación

En la figura 14 observamos 3 cortes transversales de rodamientos rígidos de 1 hilera de bolas. En la **figura a** se muestra un rodamiento sin tapas, los cuales son adecuados para muy altas velocidades de rotación.

En la **figura b** se muestra un rodamiento con obturaciones no rozantes (también llamadas de paso estrecho o de laberinto), el cual es apto para altas velocidades de rotación y son fabricadas de acero. Se puede apreciar que la tapa está encastrada sobre el anillo exterior, y queda un pequeño espacio entre la tapa y el anillo interior. Una ranura en forma de V se mecaniza alrededor del anillo interior. Bajo la acción de la fuerza centrífuga, la superficie exterior de la ranura actúa para detener el ingreso de polvo; la superficie interior de la ranura actúa para contener dentro la grasa.

En la **figura c** se muestra un rodamiento con obturaciones rozantes, el cual soporta menores velocidades de rotación que los anteriores, debido a que se produce un rozamiento del sello de caucho contra el anillo interior. El labio interior del sello de doble labio es presionado contra la superficie interior de la ranura en V; el labio exterior se mantiene por la fuerza elástica del caucho para crear una mínima separación entre el labio exterior y el anillo interior. Dado que el labio interior se desgasta, la presión de contacto disminuirá; sin embargo, el labio exterior se mantendrá cerca del anillo interior. En efecto, un nivel constante de sellado será mantenido en el

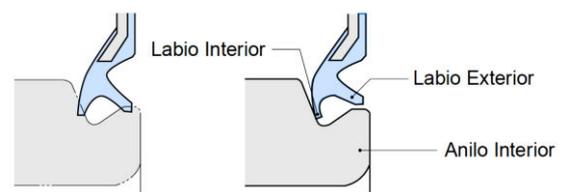


Figura 4-9

sistema; y como resultado, la vida útil del rodamiento será aumentará notablemente. La figura 4-9 muestra las obturaciones rozantes de manera más detallada.

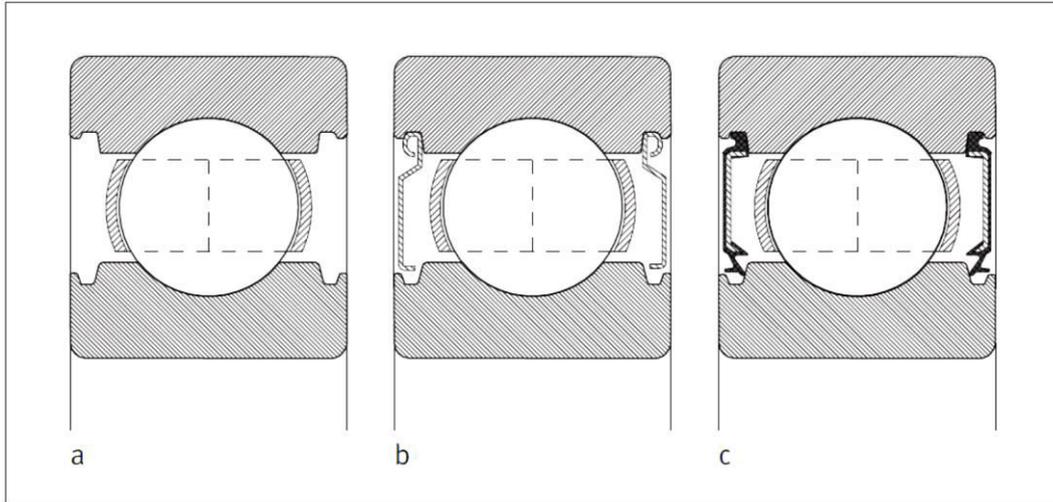


Figura 4-10

Como referencia, el siguiente cuadro es de un fabricante (NTN), y describe las características de cada uno de los tipos de sellos para rodamientos rígidos de 1 hilera de bolas. La codificación de los tipos de sellos depende únicamente del fabricante, es decir, no es estandarizada.

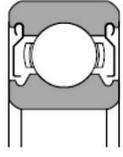
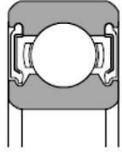
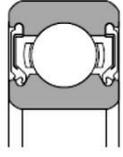
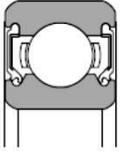
Tipo, No. de Código	Tipo con tapa	Tipo sellado			
	Tipo no contacto ZZ	Tipo no contacto LLB	Tipo contacto LLU	Tipo de bajo torque LLH	
Construcción					
	<ul style="list-style-type: none"> Una tapa de metal es fijada al anillo exterior; El anillo interior incorpora una ranura en V y una holgura laberíntica. 	<ul style="list-style-type: none"> El anillo exterior incorpora caucho sintético moldeado en una platina de acero; el borde del sello está alineado con la ranura en V a todo lo largo de la superficie del anillo interior con una holgura laberíntica. 	<ul style="list-style-type: none"> El anillo exterior incorpora caucho sintético moldeado en una platina de acero; el borde del sello está en contacto con la ranura en V a todo lo largo de la superficie del anillo interior. 	<ul style="list-style-type: none"> La construcción básica es la misma que la del tipo LLU, pero un labio especialmente diseñado en el borde del sello previene la penetración de materia contaminante; esta construcción asegura un bajo torque del sello. 	
Comparación del desempeño	Torque	Muy bajo	Muy bajo	Mediano	Bajo
	Resistencia contra el polvo	Buena	Muy buena	La mejor	Excelente
	Resistencia contra el agua	Pobre	Pobre	Muy buena	Buena
	Capacidad para alta velocidad	Igual que el tipo abierto	Igual que el tipo abierto	Limitada por los sellos de contact	Mejor que el tipo LLU
Rango de temperatura admisible	Depende del lubricante	-25°C ~120°C	-25°C~110°C	-25°C~120°C	

Tabla 2

4.6.2. Rodamientos sin tapas de obturación

En estos casos deben diseñarse elementos anexos para proteger al rodamiento. También existen las 2 clases mencionadas anteriormente, **rozantes y no rozantes**. A continuación se muestran distintas configuraciones.

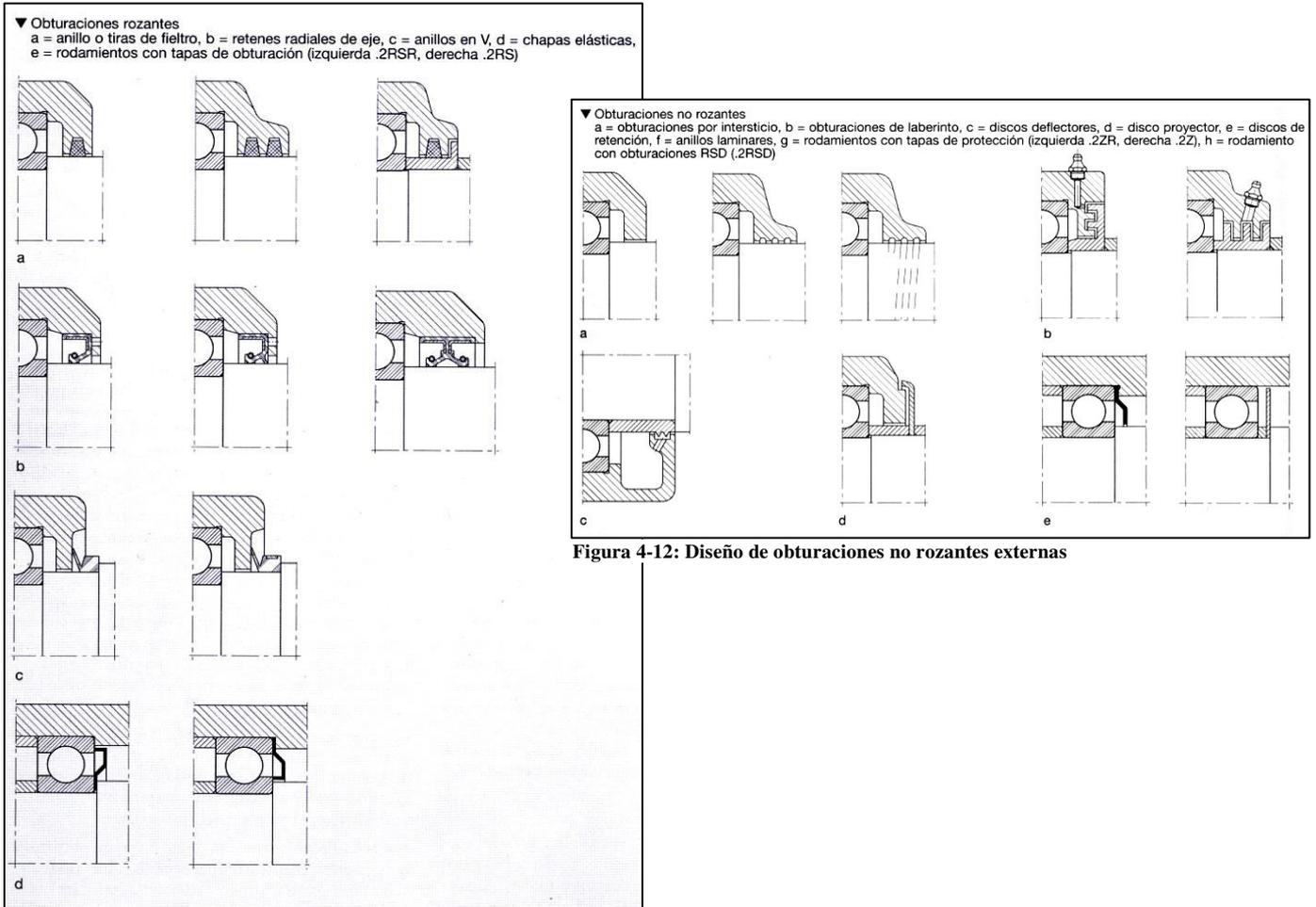


Figura 4-12: Diseño de obturaciones no rozantes externas

Figura 4-11: Diseño de obturaciones rozantes externas

Obturaciones rozantes externas:

Anillo de Fieltro (a): Está indicado para trabajar a bajas velocidades, utilizando grasa como lubricante. Tanto el anillo de fieltro como la ranura para su alojamiento mecanizada en el soporte, están normalizados según la norma DIN 5.419. La forma trapecial de la sección de la ranura tiende a empujar el fieltro hacia el árbol, asegurando una adherencia suficiente para obtener una buena protección.

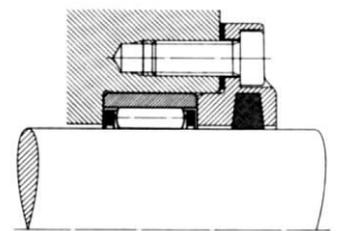


Figura 4-13: Obt. por anillo de fieltro

Prensaestopas: Es una empaquetadura de estopa, cuero, cabos de algodón u otras materias textiles, en forma de vaso o cazoleta, que al ser comprimida axialmente por una brida, se expande radialmente, produciendo la obturación deseada.

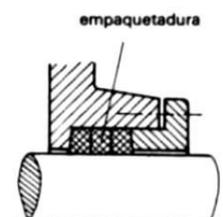


Figura 4-14: Obt. por prensaestopas.

Retenes: Son elementos obturadores de goma sintética, provistos de un labio o reborde que presiona sobre el árbol por la acción de un resorte toroidal; a su vez, pueden tener un alma metálica incorporada al anillo exterior. El revestimiento exterior de goma garantiza una óptima adherencia en el soporte y absorbe las vibraciones producidas por las partes en movimiento. La acción obturadora es predominantemente en un sentido, siendo apropiados para elevadas velocidades de rotación en rodamientos lubricados con aceite. Están normalizados en UNE 26.309, DIN 6.503 y DIN 6.504

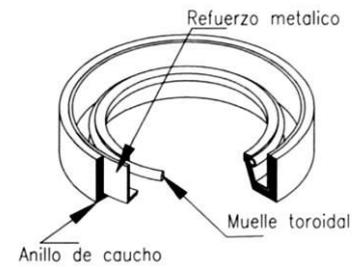


Figura 4-15: Diseño de un reten normalizado

Si el propósito principal de la obturación es evitar la pérdida de lubricante, el reten debe montarse con el labio hacia el interior del alojamiento (figura 20.a), por el contrario, si se trata de evitar la entrada de suciedad, el labio deberá ir montado hacia el exterior del alojamiento (figura 20.b).

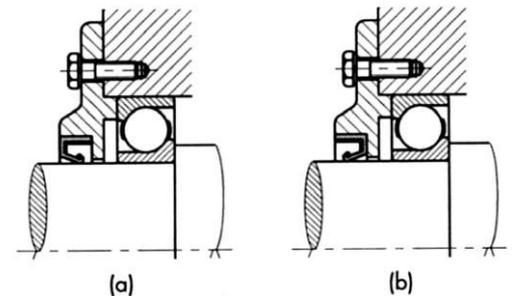


Figura 4-16

Si se desea una obturación en los dos sentidos (impedir la salida de lubricante y el ingreso de cuerpos extraños), hay que montar dos retenes con el labio opuesto, colocando entre ellos un engrasador; o bien, se puede utilizar un reten de doble labio, de manera que el labio no provisto de muelle de presión esté vuelto hacia el exterior, llenando de grasa la cámara interlabial.

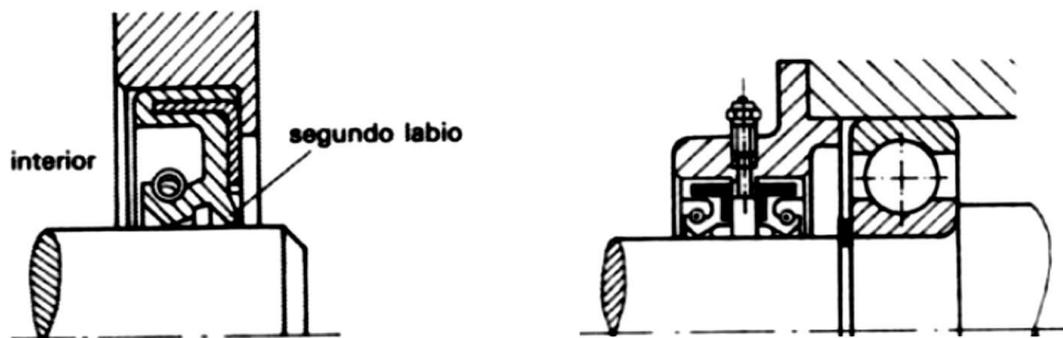


Figura 4-17: disposición de retenes para evitar fugas en ambas direcciones

Obturaciones no rozantes externas:

Obturadores ranurados: Proporcionan un cierre suficiente para aplicaciones sencillas y se utilizan principalmente para la lubricación con grasa. La holgura existente entre el árbol y la superficie de cierre, puede ser relativamente estrecha, con un valor de 0,1 a 0,2 mm. Las ranuras concéntricas retienen los pequeños cuerpos extraños y ofrecen una buena base de sustentación para retener la grasa.

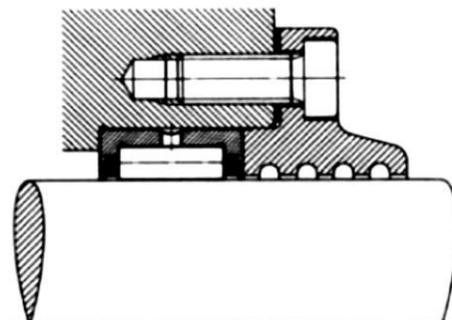


Figura 4-18

Obturadores de Laberinto: Cubren las necesidades impuestas por las especificaciones más rigurosas y están compuestos por una o varias gargantas, de acuerdo con las condiciones de servicio. Para evitar los efectos de succión, el hueco radial formado por las gargantas no debe ser demasiado estrecho, al igual que para aumentar la eficacia de la estanquidad, los espacios intermedios deberían estar siempre repletos de grasa.

Los obturadores de laberinto pueden ser de dos tipos: laberintos con tabique **axial** para soportes enterizos y laberintos con tabique **radial** para soportes partidos. (figura 24)

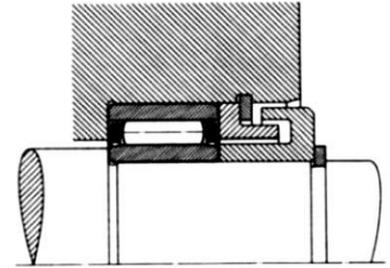


Figura 4-19

OBTURADOR DE LABERINTO AXIAL

OBTURADOR DE LABERINTO RADIAL

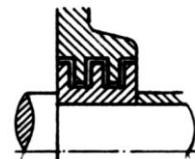
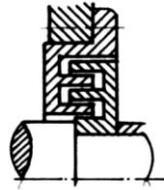


Figura 4-20

Los obturadores de laberinto se pueden utilizar solos o combinados con anillos de fieltro.

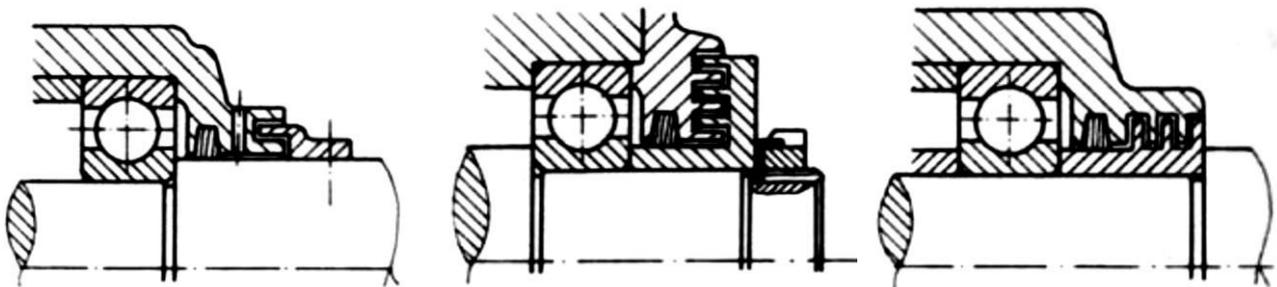


Figura 4-21: Combinación de sellos de laberinto con sellos de fieltro

Tapas elásticas de protección: Se emplean para aquellas construcciones en que el espacio disponible para proteger el rodamiento es muy reducido. Los discos pueden ser estacionarios o rotantes, y el cordón de grasa que se forma en el intersticio protege al rodamiento de la entrada de impurezas.

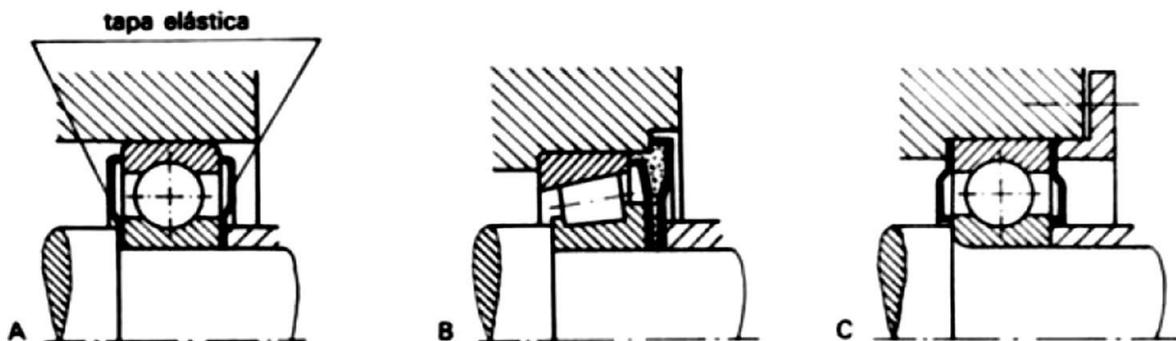


Figura 4-22

4.7. Juego radial de los rodamientos

El **juego radial** es válido para rodamientos con anillo interior y se obtiene con el rodamiento sin montar. Es la medida que puede desplazarse en dirección radial el anillo interior respecto al exterior, desde una posición límite hasta la opuesta. Según DIN 620, el juego radial está subdividido en cuatro grupos (tabla inferior): CN, C3, C4, C2. Los valores para el juego radial están indicados en la tabla inferior.

Grupo	Sufijo	Clasificación	Espectro de utilización
CN	sin sufijo	Juego normal (estándar)	Utilizable para: <ul style="list-style-type: none"> • Condiciones normales de funcionamiento para tolerancias de eje y alojamiento, tal como viene indicado en "Juego de funcionamiento"
C3		Juego > CN (ejecución especial)	Utilizable para: <ul style="list-style-type: none"> • ajustes con apriete de los anillos del rodamiento • diferencia elevada de temperatura entre los anillos interior y exterior
C4		Juego > C3	
C5		Juego > C4	
C2		Juego < CN	Utilizable para: <ul style="list-style-type: none"> • cargas alternas elevadas en combinación con desplazamientos de basculación. En este caso se debe vigilar los rodamientos cuidadosamente, ya que puede aparecer un calentamiento más intenso

Tabla 3: Listado de ajuste internos de rodamientos

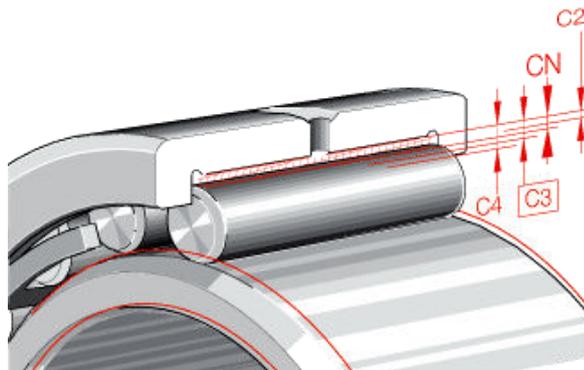


Figura 4-23

4.8. Juego de funcionamiento

El juego de funcionamiento es el que se obtiene con el rodamiento montado y funcionando a velocidad de régimen.

Es la medida que puede desplazarse en **dirección radial** el eje, desde una posición límite hasta la opuesta.

El juego de funcionamiento se obtiene a partir de:

- el juego radial de fabricación (tabla inferior)
- de la variación del juego radial debida a la **interferencia de ajuste**
- de la variación del juego radial debida a las **variaciones de temperatura**.

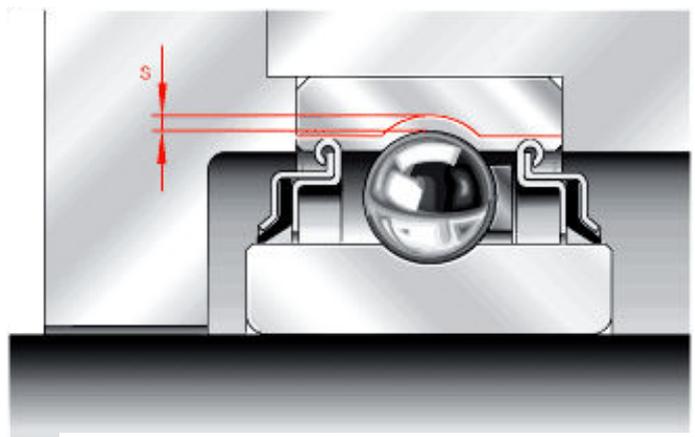


Figura 4-24

Agujero		juego radial de la rótula							
D (mm)		C2 (μm)		CN (μm)		C3 (μm)		C4 (μm)	
Más de	hasta	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
-	24	0	25	20	45	35	60	50	75
24	30	0	25	20	45	35	60	50	75
30	40	5	30	25	50	45	70	60	85
40	50	5	35	30	60	50	80	70	100
50	65	10	40	40	70	60	90	80	110
65	80	10	45	40	75	65	100	90	125
80	100	15	50	50	85	75	110	105	140
100	120	15	55	50	90	85	125	125	165
120	140	15	60	60	105	100	145	145	190
140	160	20	70	70	120	115	165	165	215
160	180	25	75	75	125	120	170	170	220
180	200	35	90	90	145	140	195	195	250
200	225	45	105	105	165	160	220	220	280
225	250	45	110	110	175	170	235	235	300
250	280	55	125	125	195	190	260	260	330
280	315	55	130	130	205	200	275	275	350
315	355	65	145	145	225	225	305	305	385
355	400	100	190	190	280	280	370	370	460
400	450	110	210	210	310	310	410	410	510
450	500	110	220	220	330	330	440	440	550

Figura 4-25

4.9. Disposición

4.9.1. Disposiciones de rodamientos fijo- libre

El **rodamiento fijo** en uno de los extremos del eje proporciona soporte radial y al mismo tiempo fija axialmente el eje en ambos sentidos. Por tanto, debe tener una fijación tanto en el eje como en el soporte. Los rodamientos radiales que soportan cargas combinadas son adecuados como rodamientos fijos, por ejemplo los rodamientos **rígidos de bolas**, los rodamientos de **dos hileras de bolas**, los rodamientos de **bolas a rótula**, los rodamientos de **rodillos a rótula** o los rodamientos de **rodillos cónicos apareados**. Las combinaciones de un rodamiento radial que puede soportar una carga puramente radial, por ejemplo un rodamiento de rodillos cilíndricos sin pestañas en un aro, con un rodamiento rígido de bolas, un rodamiento de bolas de cuatro puntos de contacto o un rodamiento axial de doble efecto, también pueden servir de rodamiento fijo. El segundo rodamiento proporciona entonces la fijación axial en ambos sentidos, pero debe ser montado en el soporte con libertad radial (es decir, tener un ajuste libre).

El **rodamiento libre** situado en el otro extremo del eje sólo proporciona soporte radial. También debe permitir los desplazamientos axiales de manera que no se produzcan tensiones recíprocas entre los rodamientos, por ejemplo cuando la longitud del eje varía debido a las dilataciones térmicas. Los desplazamientos axiales pueden tener lugar dentro del propio rodamiento en el caso de los rodamientos de agujas, los rodamientos de rodillos cilíndricos de tipo NU- y N o entre uno de los aros del rodamiento y su asiento, preferiblemente entre el aro exterior y su asiento en el alojamiento.

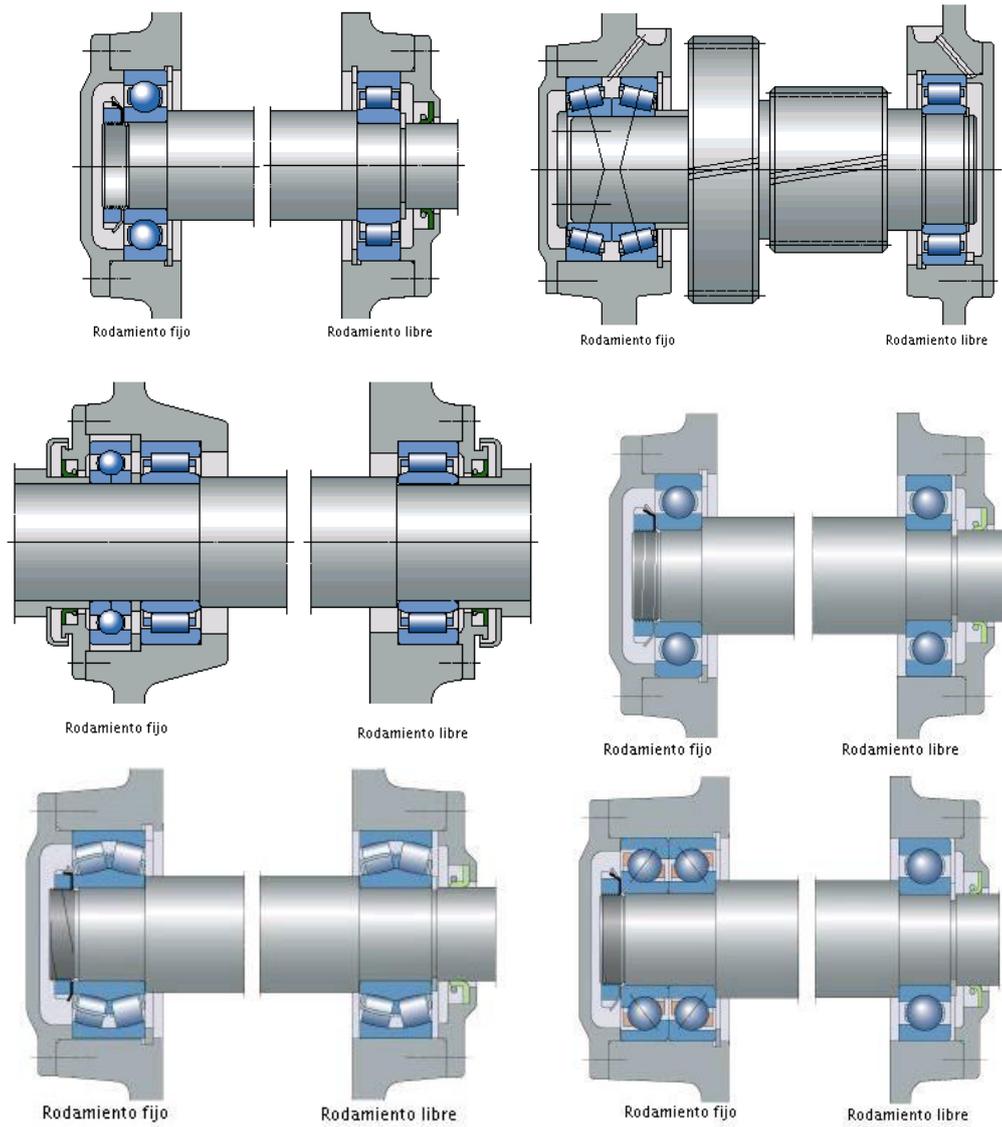


Figura 4-26: Ejemplos de disposición fijo-Libre

La tabla 4 describe diferentes tipos de montaje fijo-libre y sus aplicaciones normales: (fuente NSK)

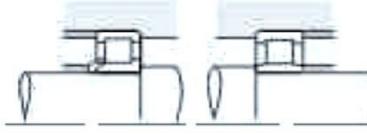
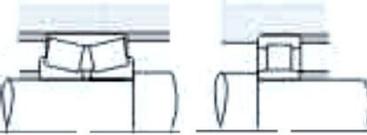
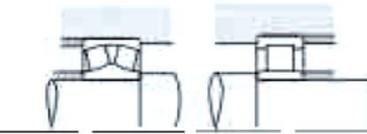
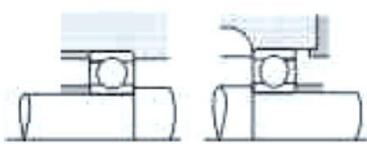
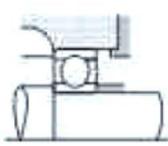
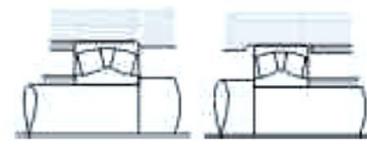
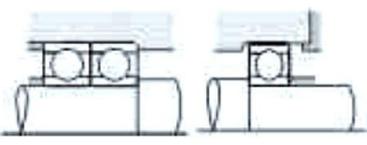
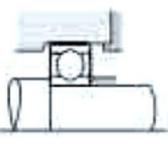
Montaje de Rodamientos		Observaciones	Ejemplos de Aplicaciones
Extremo fijo	Extremo libre		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Este es un montaje típico, en él no se aplican cargas anormales a los rodamientos aunque el eje se dilate o contraiga. ○ Si el error de montaje es pequeño, resulta aconsejable para altas velocidades. 	Motores eléctricos de tamaño mediano, ventiladores.
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Este montaje puede soportar cargas pesadas y de choque así como también alguna carga axial. ○ Cada tipo de rodamiento de rodillos cilíndricos es separable. Esto resulta útil cuando se requiere interferencia para ambos aros. 	Motores de tracción para locomotoras.
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Este montaje se utiliza cuando las cargas son relativamente pesadas. ○ Para máxima rigidez del rodamiento de extremo fijo, se utiliza un montaje espalda-a-espalda. ○ Tanto el eje como el alojamiento deben tener alta precisión, el error de montaje ha de ser pequeño. 	Rodillos de mesa para trenes de laminación, cabezales principales de fresadoras.
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Éste también resulta aconsejable cuando es necesaria la interferencia para ambos aros, interior y exterior. No se pueden aplicar cargas axiales pesadas. 	Rodillos para fabricación de papel, ejes de locomotoras diesel.
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Éste es aconsejable para altas velocidades y altas cargas radiales. Se pueden aplicar cargas axiales moderadas. ○ Es necesario proporcionar algo de juego entre el aro exterior del rodamiento de bolas y el agujero del alojamiento, con el fin de evitar el someter a este último a las cargas radiales 	Cajas reductoras de locomotoras diesel.

Tabla 4

Disposición de Rodamientos		Observaciones	Ejemplos de Aplicaciones
Extremo fijo	Extremo libre		
		<ul style="list-style-type: none"> ○ La disposición más usual. ○ No sólo puede soportar cargas radiales, sino también cargas axiales moderadas. 	Transmisión de automóviles, bombas difusoras de doble succión.
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Ésta es la disposición más aconsejable cuando se dan errores de montaje o deflexiones del eje. ○ Se utiliza generalmente en aplicaciones industriales y generales en las cuales se aplican altas cargas. 	Reductores, rodillos de mesa de laminación, ruedas para grúa-puente.
		<ul style="list-style-type: none"> ○ Ésta es aconsejable cuando existen cargas axiales bastante altas en ambas direcciones ○ Se pueden utilizar rodamientos de doble hilera de bolas de contacto angular en lugar de una combinación de dos rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular. 	Reductores de tornillo sin fin.

4.9.2. Disposiciones de rodamientos ajustados

En las disposiciones de rodamientos ajustados, el eje está fijado axialmente en un sólo sentido por uno de los rodamientos, y en sentido opuesto por el otro rodamiento. Este tipo de disposición se denomina "fijación cruzada" y se suele utilizar para los ejes cortos. Estas rodaduras consisten, por lo general, en dos rodamientos a bolas de contacto angular o dos rodamientos de rodillos cónicos, montados uno contra el otro, en oposición. Durante el montaje, un anillo se desplaza sobre su asiento hasta que la rodadura tenga el juego deseado o la precarga necesaria. Debido a esta posibilidad de ajuste, la rodadura ajustada es especialmente adecuada cuando se requiere un guiado estrecho, p.ej. para rodaduras de ruedas dentadas cónicas con dentado helicoidal y rodaduras de husillos principales de máquinas-herramienta.

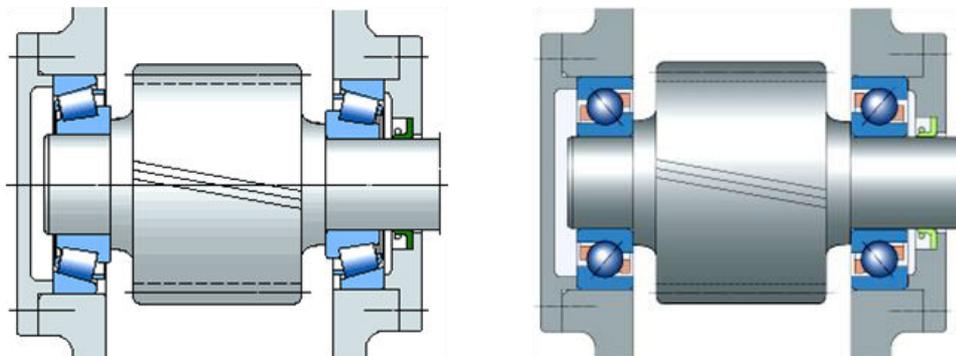


Figura 4-27: Ejemplos de disposiciones ajustadas

4.9.2.1. Precarga de rodamientos en disposición ajustada

La disposición de rodamientos puede disponer de un juego de funcionamiento positivo o negativo. En la mayoría de las aplicaciones, el **juego de funcionamiento debe ser positivo**, es decir, al girar el rodamiento debe tener un juego residual determinado, por pequeño que sea. Sin embargo, hay muchos casos en los que es preferible un **juego de funcionamiento negativo**, es decir una precarga, con objeto de aumentar la rigidez de la disposición de rodamientos o incrementar la exactitud de giro. Tal es el caso con los husillos para máquinas herramienta, los rodamientos de piñón en las transmisiones del eje de automóviles, las disposiciones de rodamientos de motores eléctricos pequeños, o las disposiciones de rodamientos para

movimientos oscilantes. También se recomienda la aplicación de una precarga, por ejemplo mediante muelles, en aquellos casos en que los rodamientos tienen que girar sin carga o bajo una carga muy ligera y a altas velocidades. En estos casos, la precarga sirve para asegurar la aplicación de una carga mínima sobre el rodamiento al objeto de evitar que éste se dañe como consecuencia de movimientos deslizantes de los elementos rodantes

4.9.2.1. Disposición en “X” y en “O”

Generalmente, se distingue entre la disposición en O, y la disposición en X. En el caso de la disposición en O, los vértices S de los conos formados por las líneas de contacto miran hacia fuera y, para la disposición en X, miran hacia dentro. La base de apoyo H, es decir, la distancia entre los vértices de los conos de contacto, es mayor para la disposición en O que para la disposición en X.

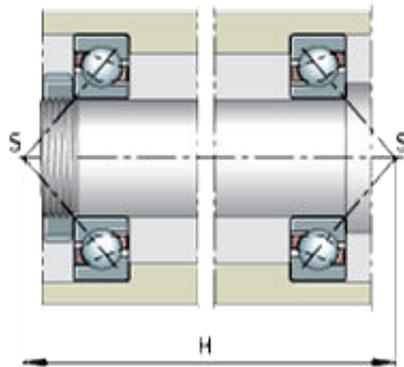


Figura 4-28: Disp. ajustada en “O”

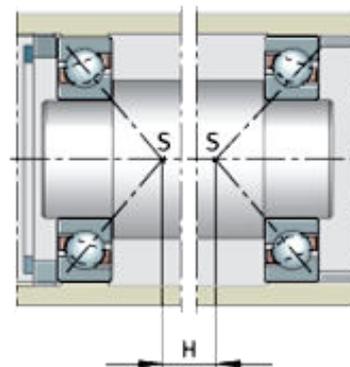


Figura 4-29: Disp. ajustada en “X”

Para el ajuste del juego axial, hay que tener en cuenta la **dilatación térmica**. En el caso de la disposición en X, un aumento de temperatura del eje respecto al alojamiento siempre conlleva una reducción de juego (requisitos: idénticos materiales para el eje y el alojamiento, idéntica temperatura de los anillos interiores y del eje, misma temperatura de los anillos exteriores y del alojamiento).

Ejemplos de montajes ajustados, y algunas aplicaciones usuales: (fuente NSK)

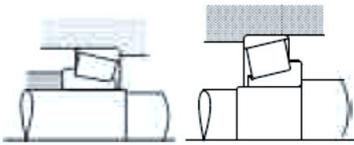
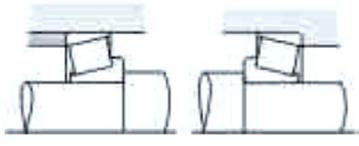
Cuando no hay distinción entre extremo fijo y extremo libre	Observaciones	Ejemplos de Aplicaciones
 <p>Montaje espalda -a- espalda</p>  <p>Montaje cara-a-cara</p>	<ul style="list-style-type: none"> ○ Esta disposición es muy utilizada porque puede soportar cargas altas y cargas de choque. ○ La disposición espalda-a-espalda es especialmente buena cuando la distancia entre los rodamientos es corta y se aplican momentos de carga. ○ La disposición cara-a-cara facilita el montaje cuando es necesaria la interferencia en el aro interior. En general, es buena cuando existe error de montaje. ○ Al utilizar esta disposición con precarga, se debe tener cuidado con la cantidad de precarga y el ajuste del juego. 	<p>Eje de piñón en diferenciales de automóviles, ejes delantero y trasero de automóviles, reductores de tornillo sinfín.</p>

Tabla 5

4.9.3. Disposiciones de rodamientos “libres” (también llamada flotante)

Las disposiciones de rodamientos libres también tienen una fijación cruzada, y son adecuadas cuando las exigencias relacionadas con la fijación axial son moderadas o cuando otros componentes del eje sirven para fijarlo axialmente. Es una solución económica cuando no se requiere un guiado axial y estrecho del eje. Esta construcción se parece a la de la rodadura ajustada. Sin embargo, en el caso de la rodadura flotante, el **eje puede desplazarse** el juego axial “s” respecto al alojamiento.

El valor “s” se fija en función de la precisión de guiado requerida, de tal manera que los rodamientos no estén fijados axialmente aun bajo condiciones térmicas desfavorables.

Los rodamientos adecuados para este tipo de disposición son:

- rodamientos rígidos de bolas
- rodamientos de bolas a rótula
- rodamientos de rodillos a rótula
- rodamientos de rodillos tipo NJ

En estas disposiciones es importante que uno de los aros de cada uno de los rodamientos pueda moverse sobre o en su asiento, preferiblemente el aro exterior en el alojamiento. En otro caso, el movimiento axial puede tener lugar en el interior del rodamiento.

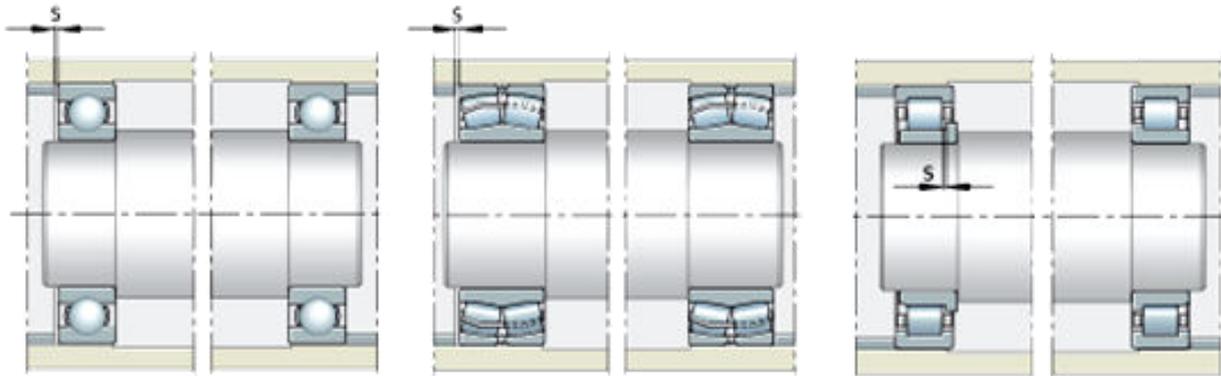


Figura 4-30: Ejemplos de disposiciones flotantes

Los rodamientos de rodillos cónicos y los rodamientos a bolas de contacto angular no son aptos para una disposición flotante, ya que deben apoyarse para un funcionamiento correcto.

4.10. Montaje y Desmontaje (ver manual de montaje FAG)

4.10.1. Preparación

Siempre que sea posible se debe efectuar el montaje en lugares limpios y secos. Se deben limpiar todos los componentes de la disposición (ejes, soportes, etc). Se deben verificar los asientos en cuanto a precisión de dimensiones y exactitud de forma, ya que es absolutamente necesario mantener los ajustes previamente establecidos para que los rodamientos puedan funcionar correctamente. Los rodamientos deben sacarse de su envase original momentos antes de la instalación y quitar el recubrimiento antioxidante solo del anillo exterior y del agujero.

4.10.2. Montaje en frío

El método (mecánico o hidráulico) para montar el rodamiento depende del tipo y del tamaño del rodamiento. Se debe evitar en cualquier caso el golpe a los aros, elementos rodantes o jaulas, ya que pueden causar daños.

RODAMIENTOS CON AGUJEROS CILÍNDRICO

Con rodamientos no desarmables, generalmente se monta primero el aro que tiene el ajuste más fuerte. Si el montaje no es muy fuerte los rodamientos pequeños pueden colocarse aplicando ligeros golpes de martillo, sobre un manguito colocado sobre la cara del aro del rodamiento. El uso del manguito con fondo permite aplicar la fuerza de montaje centrada. Si un rodamiento no desarmable se ha de calar a presión simultáneamente en eje y alojamiento, se debe hacer de la siguiente forma, con las herramientas adecuadas.

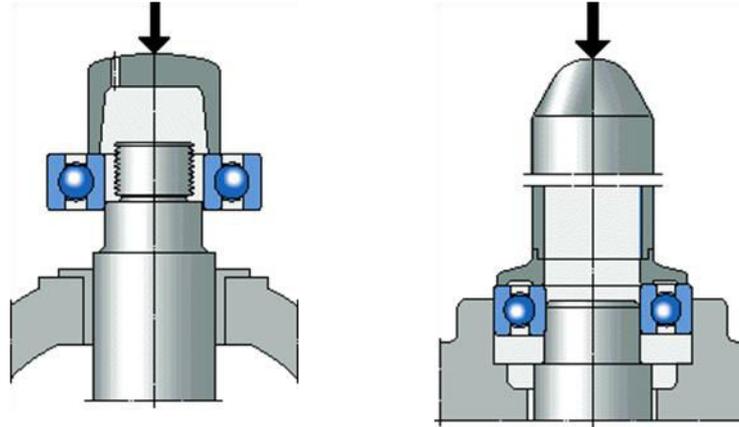


Figura 4-31: Correcto montaje de rodamientos rígidos de bolas

Con rodamientos a rótula el uso de un disco intermedio de apoyo evita que el aro exterior se cruce y oscile con su eje al ser introducido con su eje en el soporte.

En el caso de rodamientos desmontables, el aro interior puede montarse en forma independiente del exterior, lo cual simplifica el montaje, especialmente cuando ambos aros tienen ajuste con interferencia. Cuando se introduce el eje con el aro interior montado en un alojamiento donde ya está el aro exterior, es importante cuidar la correcta alineación.

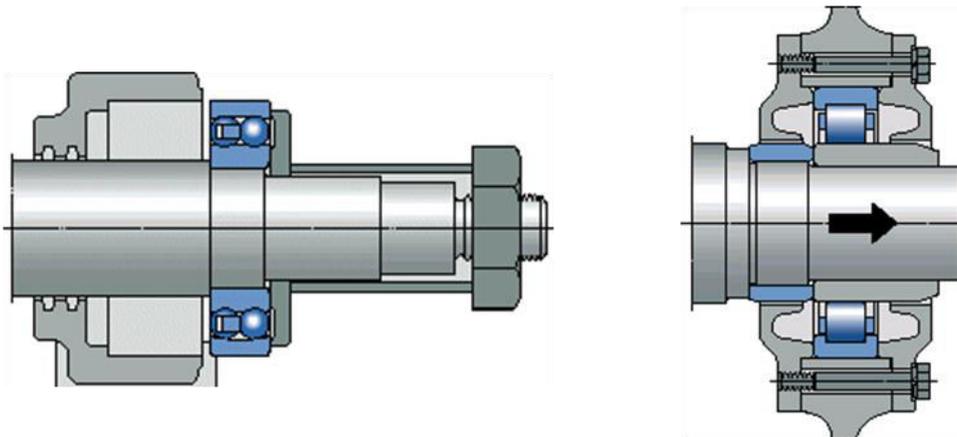


Figura 4-32

4.10.3. Montaje en caliente

Los rodamientos más grandes generalmente no se pueden montar en frío, ya que la fuerza que se requiere para montar un rodamiento aumenta considerablemente con el tamaño del mismo. Por ese motivo, los rodamientos, los aros interiores o los soportes (por ejemplo, los rodamientos de cubo de rueda) se calientan antes de su montaje.

La diferencia de temperatura requerida entre el aro del rodamiento y el eje o el soporte depende del grado de interferencia y del diámetro del asiento del rodamiento. Los rodamientos no deben calentarse a más de 125 °C, ya que podrían producirse cambios dimensionales originados por alteraciones en la estructura de su material. Los rodamientos equipados con placas de protección u obturaciones no se deben calentar por encima de los 80 °C, debido a la grasa que contienen o al material de la obturación.

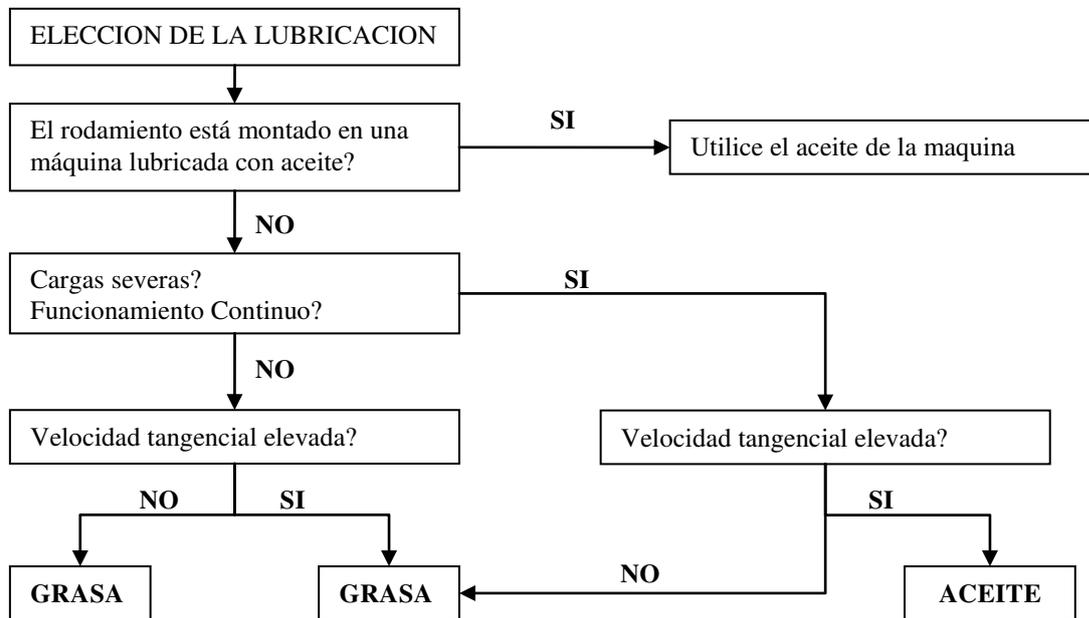


Figura 4-33: Dispositivo de calentamiento de rodamientos

4.11. Lubricación

La lubricación facilita los movimientos, disminuye la fricción interna, protege contra la corrosión y actúa como refrigerante. La mayoría de los rodamientos, cerca del 90%, son lubricados a grasa.

El siguiente organigrama presenta una primera aproximación de la elección de un modelo de lubricación.



4.12. Lubricación a Grasa

Protege contra la corrosión, asegura una cierta estanquidad en oposición a la entrada de impurezas, es conveniente para un gran gama de velocidades (hasta 15 m/s de velocidad tangencial), asegura largos periodos sin mantenimiento y es más fácil de retener en la disposición de rodamientos, particularmente con ejes inclinados o verticales.

- Rodamientos engrasados con sellos protectores** (ver fig.38-A): Muy práctico, es conveniente si la vida es limitada, el re-engrase es imposible.
- Engrasado al montaje**(38-B): Solución simple y usual, se puede engrasar de por vida o por períodos de mantenimiento. La vida del rodamiento depende del volumen de grasa presente entre los elementos rodantes.
- Graseros**(38-C, 38-D y 38-E): son utilizados cuando las engrasadas son periódicas. Si el engrasado es frecuente se debe imperativamente eliminar la grasa usada.
- Engrasado centralizado**(38-F):Este es la última tendencia en materia de engrasado, evita el parado de la máquina y la intervención humana. Una bomba, a partir de un sistema de canalizaciones, lubrica al mismo tiempo todos los rodamientos.

4.13. Lubricación a Aceite

Es utilizada en los siguientes casos: velocidades muy elevadas, ejes muy cargados, temperaturas elevadas que necesitan una evacuación de calor y de máquinas lubricadas a aceite.

- Lubricación por baño de aceite** (ver fig. 39-A): Es el dispositivo más simple, el aceite recogido por los componentes giratorios del rodamiento se distribuye por todo el interior de este y después vuelve a caer. El aceite debe tener un nivel ligeramente inferior por debajo del elemento rotante en estado estacionario.
- Lubricación por salpicado y baño**(39-B, 39-C y 39-D):el aceite que llega por salpicado se acumula en un depósito que sirve como en el caso anterior

- c) **Lubricación por circulación de aceite**(39-E, 39-F y 39-G): Ésta se consigue por medio de una bomba. Después de pasar el aceite por el rodamiento se filtra y, de ser necesario, se enfría, antes de volver al rodamiento. Algunos rodamientos, cónicos y de contacto oblicuo crean un efecto de bomba que crea una circulación de aceite.

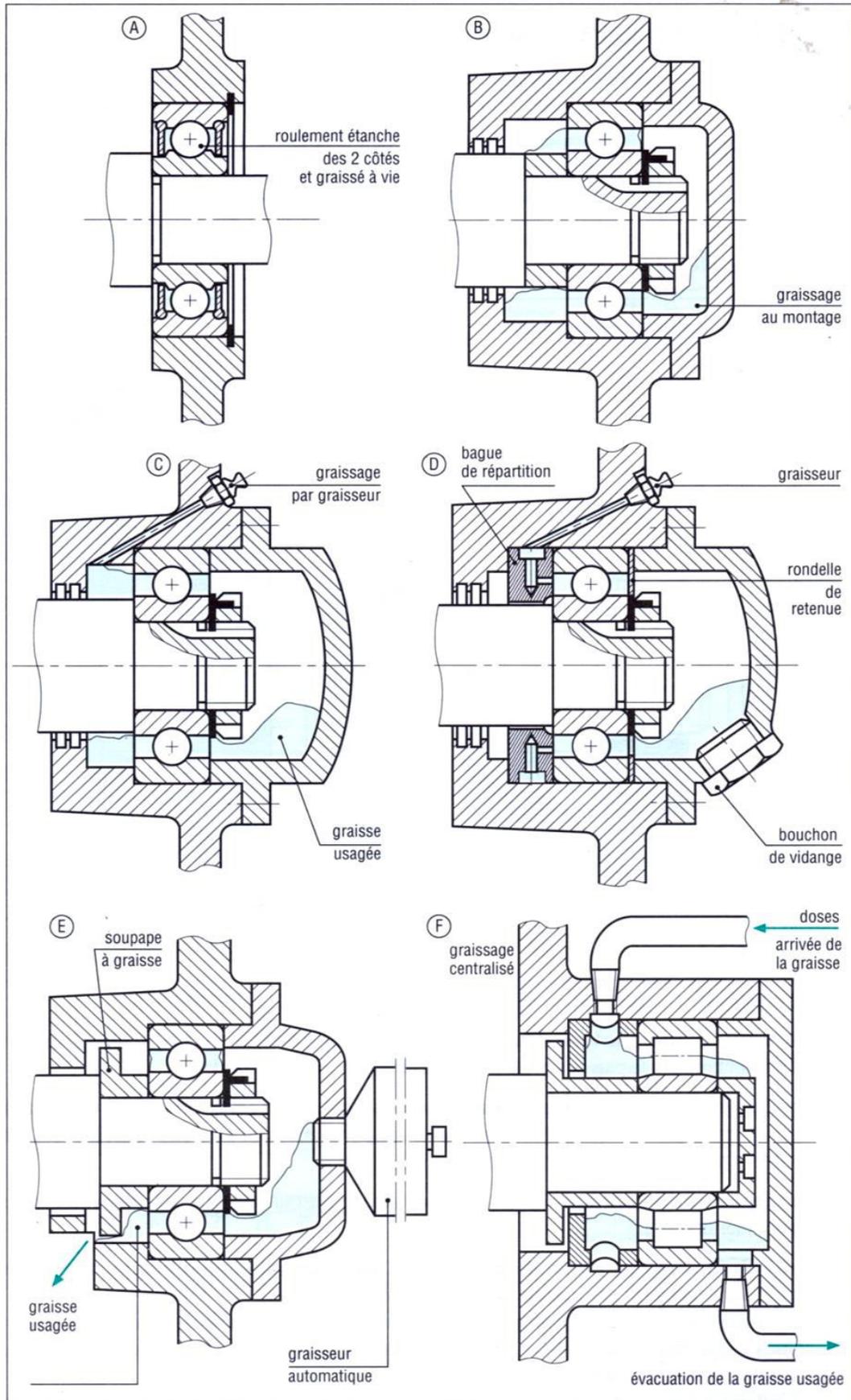


Figura 4-34: Esquemas de lubricación por grasa

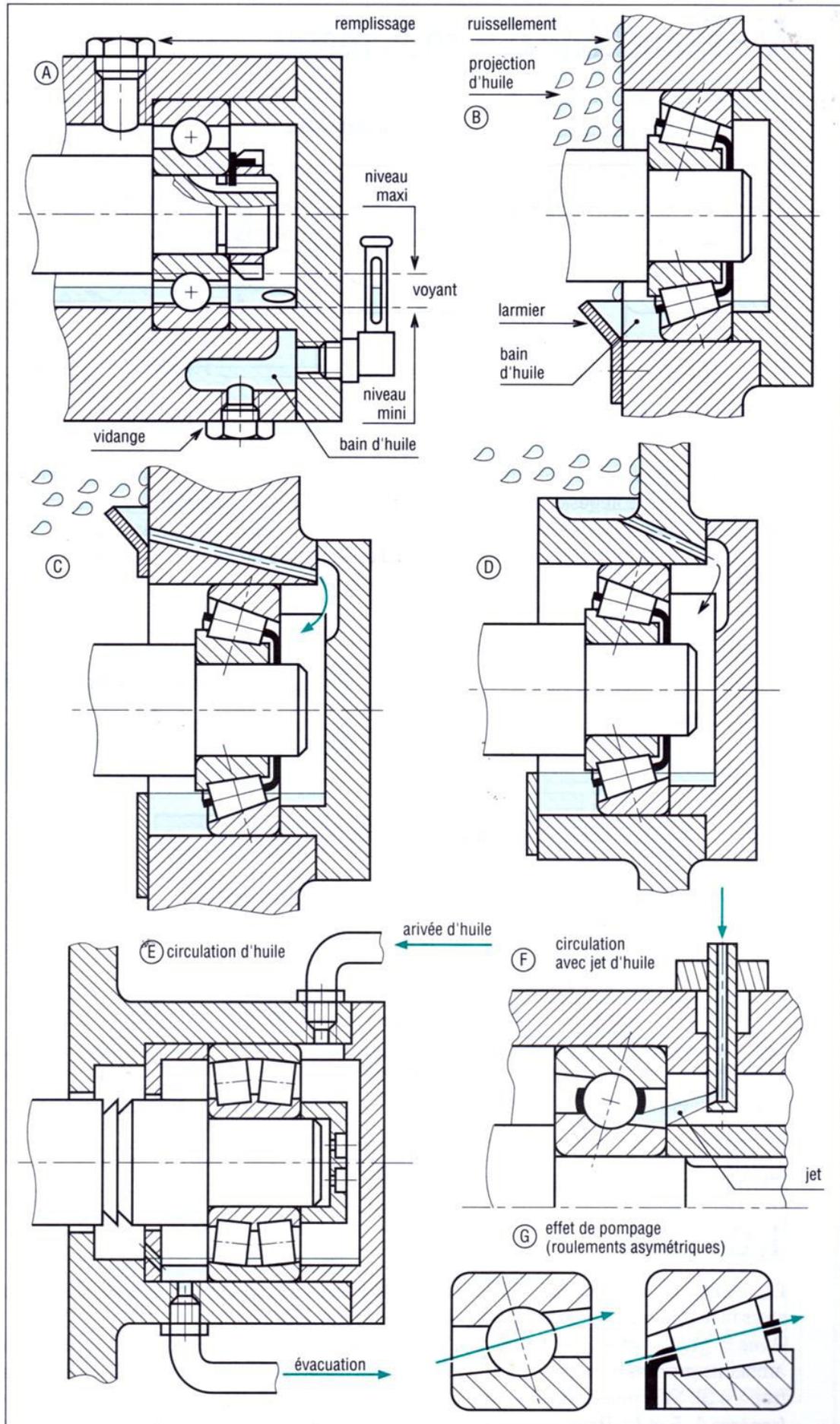


Figura 4-35: Esquemas de lubricación por aceite

5. Selección del rodamiento y cálculo de vida

5.1. Criterios de elección

- **Diámetro del eje**
- Naturaleza de las cargas
- Intensidad de las cargas
- Velocidad de rotación
- Limitación dimensional
- Perturbaciones (choques, vibraciones, etc.)
- Condiciones de montaje
- Precisión exigida
- Rigidez exigida
- Vida útil esperada
- Lubricación
- Temperatura
- Condiciones ambientales

5.2. Definiciones

Capacidad de carga

El tamaño del rodamiento que va a ser utilizado se selecciona inicialmente en base a su capacidad de carga, comparada con las que tendrá que soportar, y las exigencias de duración y fiabilidad requeridas.

La **capacidad de carga dinámica C** se usa para los cálculos cuando existen esfuerzos dinámicos, es decir, al seleccionar un rodamiento que gira sometido a carga y expresa la carga que puede soportar un rodamiento alcanzando una vida nominal de 1.000.000 de revoluciones, con una seguridad del 90%. Esta duración, como período de **fatiga**, depende de:

- ◆ la carga
- ◆ La velocidad de funcionamiento
- ◆ la probabilidad estadística de que se produzca la primera avería.

La **capacidad de carga estática C_0** se usa en los cálculos cuando el rodamiento gira muy bajas velocidades, cuando está sometido a oscilaciones lentas o cuando permanece períodos muy largos en forma estacionaria bajo carga.

La capacidad de carga estática es la carga bajo la cual la presión de Hertz entre los elementos rodantes y las pistas de rodadura, en el punto de máxima carga, alcanza los siguientes valores:

- ◆ para rodamientos de rodillos 4 000 N/mm²
- ◆ para rodamientos a bolas 4 200 N/mm².

En condiciones normales de contacto, esta carga tiene como consecuencia una deformación permanente total del orden de 1/10 000 del diámetro de los elementos rodantes.

Vida

Redefine como el número de revoluciones que el rodamiento puede dar antes de que se manifieste el primer signo de fatiga en uno de sus aros o de sus elementos rotantes. Sin embargo como dos rodamientos idénticos, funcionando bajo las mismas condiciones, tienen vida diferente, en las tablas de rodamientos se expresa la capacidad de carga dinámica C basada

en la vida alcanzada o superada por el 90% de los rodamientos de un grupo suficientemente grande. A esta vida se le denomina nominal.

El tamaño necesario de un rodamiento depende de los requisitos que deba cumplir en cuanto a:

- Capacidad de carga o carga máxima admisible
- Duración de vida
- Seguridad de funcionamiento.

La medida de la capacidad de carga son las capacidades de carga estática y dinámica. Las capacidades de carga dinámica están basadas en DIN ISO 281, las capacidades de carga estáticas en DIN ISO 76.

El **tensión de fluencia** del material determina la **capacidad de carga estática** de un rodamiento.

El comportamiento del material frente a la **fatiga** determina la **capacidad de carga dinámica** de un rodamiento.

5.3. Verificación bajo carga estática

Para la verificación de un rodamiento que se encuentra en una situación estática, solo basta con calcular el coeficiente de seguridad estático f_s que es la relación entre la capacidad de carga estática C_0 y la carga máxima que se produce P_0 .

$$f_s = \frac{C_0}{P_0} \quad \text{Ecuación 1}$$

f_s : Seguridad de carga estática [adimensional]

C_0 : capacidad de carga estática [Newton]

P_0 : carga estática equivalente, sobre el rodamiento.[Newton]

$$P_0 = X_0 \cdot F_{r0} + Y_0 \cdot F_{a0} \quad \text{Ecuación 2}$$

Los coeficientes son extraídos de catalogo, y son distintos para cada rodamiento.

Condiciones de funcionamiento	f_s	
	Rodamientos de rodillos	Rodamientos a bolas
funcionamiento suave, normal y con bajas vibraciones con requisitos poco severos de suavidad de marcha; rodamientos con reducida oscilación	≥ 1	$\geq 0,5$
funcionamiento normal con requisitos más elevados de suavidad de marcha	≥ 2	≥ 1
funcionamiento con cargas de impactos o choques significantes	≥ 3	≥ 2
rodadura con requisitos elevados de precisión de guiado y suavidad de marcha	≥ 4	≥ 3

Tabla 6: Factores de seguridad estáticos mínimos según diferentes casos

5.4. Verificación bajo carga dinámica: Cálculo de la duración de vida

La duración de vida requerida del rodamiento viene fijada por el constructor del equipamiento en el que se incluye el rodamiento. A título de ejemplo, mostramos a continuación los órdenes de magnitud de las duraciones de vida de las máquinas más comunes:

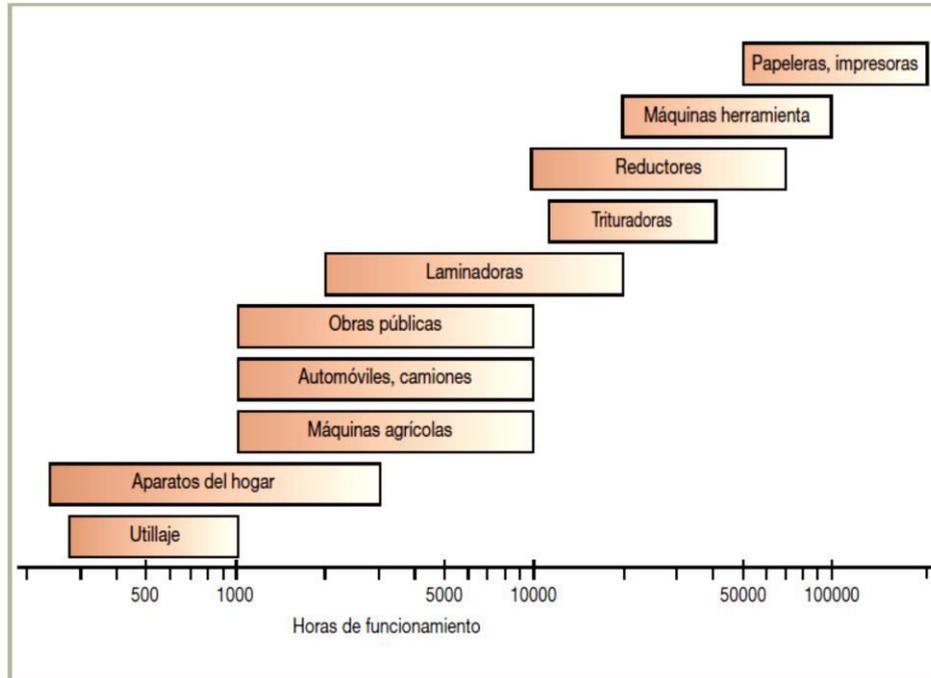


Figura 5-1: Horas de vida recomendadas según distintas industrias

El fabricante FAG ofrece tablas más completas para referencia de duración de vida recomendadas en rodamientos utilizados en diferentes industrias.

Aplicación en Vehículos	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Motocicletas	400	2 000	400	2 400
Transmisiones de automóviles	500	1 100	500	1 200
Rodamientos para turismos (cajas de cambios)	200	500	200	500
Ruedas de turismos	1 400	5 300	1 500	7 000
Vehículos industriales ligeros	2 000	4 000	2 400	5 000
Vehículos industriales medios	2 900	5 300	3 600	7 000
Vehículos industriales pesados	4 000	8 800	5 000	12 000
Autobuses	2 900	11 000	3 600	16 000
Motores de combustión interna	900	4 000	900	5 000

Aplicación en Vehículos sobre rieles	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Rodamientos de ruedas de ferrocarril	7 800	21 000	-	-
Vagones de tranvía	-	-	35 000	50 000
Vagones de viajeros	-	-	20 000	35 000
Vagones de mercancías	-	-	20 000	35 000
Vagones de tierras	-	-	20 000	35 000
Automotor	-	-	35 000	50 000

Aplicación en Vehículos sobre rieles	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Locomotoras, rodamientos exteriores	-	-	35 000	50 000
Locomotoras, rodamientos interiores	-	-	75 000	110 000
Reductores para vehículos sobre raíles	14 000	46 000	20 000	75 000

Aplicación en Industria Naval	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Rodamientos de empuje para barcos	-	-	20 000	50 000
Rodamientos de apoyo de la hélice	-	-	50 000	200 000
Reductores marinos grandes	14 000	46 000	20 000	75 000
Reductores marinos pequeños	4 000	14 000	5 000	20 000
Motores para botes	1 700	7 800	2 000	10 000

Aplicación en Maquinas Agrícolas	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Tractores agrícolas	1 700	4 000	2 000	5 000
Máquinas agrícolas autopropulsadas	1 700	4 000	2 000	5 000
Máquinas de trabajo estacional	500	1 700	500	2 000

Aplicación en Maquinaria para la construcción	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Apisonadoras, cargadoras	4 000	7 800	5 000	10 000
Excavadoras, disp. de traslación	500	1 700	500	2 000
Excavadoras, mecanismo de giro	1 700	4 000	2 000	5 000
Apisonadoras de rodillo vibratorio, transportadores vibratorios	1 700	4 000	2 000	5 000
Elementos vibratorios	500	1 700	500	2 000

Aplicación en Motores Electricos	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Motores eléctricos para electrodomésticos	1 700	4 000	-	-
Motores eléctricos de serie	21 000	32 000	35 000	50 000
Motores de gran potencia	32 000	63 000	50 000	110 000
Motores eléctricos para vehículos	14 000	21 000	20 000	35 000

Aplicación en Laminadores, maquinaria Minería	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Laminadores	500	14 000	500	20 000
Reductores para laminación	14 000	32 000	20 000	50 000

Aplicación en Laminadores, maquinaria Minería	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Caminos de rodillos accionados	7 800	21 000	10 000	35 000
Máquinas de fundición centrífuga	21 000	46 000	35 000	75 000

Aplicación en Maquinas Herramientas	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Husillos de tornos y de fresadoras	14 000	46 000	20 000	75 000
Husillos de taladradoras	14 000	32 000	20 000	50 000
Husillos de rectificadoras	7 800	21 000	10 000	35 000
Husillos portapieza de rectificadoras	21 000	63 000	35 000	110 000
Reductores para máquinas-herramienta	14 000	32 000	20 000	50 000
Prensas, volantes de inercia	21 000	32 000	35 000	50 000
Prensas, eje excéntrico	14 000	21 000	20 000	35 000
Herramientas eléctricas y neumáticas	4 000	14 000	5 000	20 000

Aplicación en maquinaria de carpintería	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Husillos de fresadoras y ejes de cuchillas	14 000	32 000	20 000	50 000
Sierras alternativas, rodamientos principales	-	-	35 000	50 000
Sierras alternativas, rodamientos de biela	-	-	10 000	20 000
Sierras circulares	4 000	14 000	5 000	20 000

Aplicación en Reductores	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Reductores universales	4 000	14 000	5 000	20 000
Motoreductores	4 000	14 000	5 000	20 000
Grandes reductores estacionarios	14 000	46 000	20 000	75 000

Aplicación en transportes de materiales	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Transportadores de cinta a cielo abierto	-	-	75 000	150 000
Rodillos de cintas transportadoras a cielo abierto	46 000	63 000	75 000	110 000
Rodillos de cintas transportadoras en general	7 800	21 000	10 000	35 000
Tambores de cinta	-	-	50 000	75 000
Excavadoras con rueda de cangilones, accionamiento de traslación	7 800	21 000	10 000	35 000
Excavadoras con rueda de cangilones, rueda de cangilones	-	-	75 000	200 000
Excavadoras con rueda de cangilones, accionamiento de la rueda de cangilones	46 000	83 000	75 000	150 000
Poleas del cable de extracción	32 000	46 000	50 000	75 000
Poleas de cables	7 800	21 000	10 000	35 000

Aplicación en Bombas, Ventiladores Y Compresores	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Ventiladores, soplantes	21 000	46 000	35 000	75 000
Soplantes de grandes dimensiones	32 000	63 000	50 000	110 000
Bombas de pistones	21 000	46 000	35 000	75 000
Bombas centrífugas	14 000	46 000	20 000	75 000
Bombas hidráulicas de pistones axiales y radiales	500	7 800	500	10 000
Bombas de engranajes	500	7 800	500	10 000
Compactadoras, compresores	4 000	21 000	5 000	35 000

Aplicación en Agitadores	Duración de vida recomendada en h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Centrífugas	7 800	14 000	10 000	20 000
Grandes agitadores	21 000	32 000	35 000	50 000

Aplicación en Maquinaria Textil	Duración de vida recomendada h			
	Rodam. a bolas		Rodam. de rodillos	
	desde	hasta	desde	hasta
Continuas de hilar, husillos de hilar	21 000	46 000	35 000	75 000
Telares automáticos, tricotosas, bordadoras	14 000	32 000	20 000	50 000

Los métodos para el cálculo de la duración de vida son:

- ◆ la duración de **vida nominal** según DIN ISO 281
- ◆ la duración de **vida nominal modificada** según DIN ISO 281
- ◆ la duración de **vida modificada y ampliada** según DIN ISO 281.

5.4.1. Duración de vida nominal

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Ecuación 3

L : millones de revoluciones

Duración de vida nominal, en millones de revoluciones, alcanzada o sobrepasada por el 90 % de una cantidad suficientemente grande de rodamientos iguales, antes de que aparezcan los primeros indicios de fatiga en el material.

$$L_h = \frac{16666}{n} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

Ecuación 4

L_h : horas

Duración de vida nominal, en horas de funcionamiento, según la definición de L

C : capacidad de carga dinámica [Newton]

P : carga dinámica equivalente sobre los rodamientos, radiales o axiales (véase Cálculo de la carga equivalente sobre el rodamiento) [Newton]

p : adimensional. Exponente de duración de vida:

- ◆ para rodamientos de agujas y de rodillos cilíndricos: **p = 10/3**

- ♦ para rodamientos a bolas: $p = 3$

n : Velocidad de funcionamiento [rpm]

5.4.1.1. Cálculo de la carga equivalente sobre el rodamiento

Las ecuaciones de duración de vida requieren una carga de magnitud y dirección constantes.

Este esfuerzo actúa:

- ♦ en dirección únicamente radial en rodamientos radiales.

En este caso $P = Fr$ y $P_0 = F_{0r}$

- ♦ en dirección únicamente axial en rodamientos axiales.

En este caso $P = Fa$ y $P_0 = F_{0a}$

En numerosas aplicaciones, no solo tenemos cargas en un solo sentido, o sea que tenemos cargas radial y axial, por lo tanto tenemos que encontrar una **carga combinada**.

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Ecuación 5

5.4.2. Duración de vida nominal modificada

La duración de vida nominal modificada puede calcularse si, además de la carga y de la velocidad de giro, se conocen otros factores de influencia como:

- ♦ características particulares del material
- ♦ la lubricación
- ♦ se exige una probabilidad de supervivencia distinta del 90 %.

$$L_{na} = a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 \cdot L$$

Ecuación 6

L_{na} : millones de revoluciones

Duración de vida nominal modificada, para características especiales del material y de las condiciones de funcionamiento, con una probabilidad de supervivencia de $(100 - n) \%$

a_1 : Coeficiente de duración de vida para una probabilidad de supervivencia distinta del 90 % [adimensional]

Probabilidad de supervivencia	Duración de vida modificada y ampliada	Coeficiente de duración de vida
%	L_{nm}	a_1
90	L_{10m}	1
95	L_{5m}	0,64
96	L_{4m}	0,55
97	L_{3m}	0,47
98	L_{2m}	0,37
99	L_{1m}	0,25
99,2	$L_{0,8m}$	0,22
99,4	$L_{0,6m}$	0,19
99,6	$L_{0,4m}$	0,16
99,8	$L_{0,2m}$	0,12
99,9	$L_{0,1m}$	0,093

Probabilidad de supervivencia	Duración de vida modificada y ampliada	Coefficiente de duración de vida
%	L_{nm}	a_1
99,92	$L_{0,08m}$	0,087
99,94	$L_{0,06m}$	0,08
99,95	$L_{0,05m}$	0,077

Tabla 7: Factor de probabilidad de supervivencia a_1

a_2 : Coeficiente de duración de vida para materiales con características especiales; para **aceros estándar de rodamientos: $a_2 = 1$**

a_3 : Coeficiente de duración de vida para condiciones específicas de funcionamiento - especialmente para el estado de lubricación. [**adimensional**]

K : Relación de viscosidades

- 1) Buena limpieza y aditivos adecuados
- 2) Máxima limpieza y carga reducida
- 3) Impurezas en el lubricante

El coeficiente de duración de vida a_3 depende de la relación de viscosidades $K = \nu/\nu_1$

- ν es la **viscosidad cinemática del lubricante** a la temperatura de funcionamiento

- ν_1 es la **viscosidad del lubricante requerida** para el funcionamiento. Con esta viscosidad se forma una capa lubricante adecuada en la zona de contacto.

Ambas viscosidades se obtienen a través de graficas.

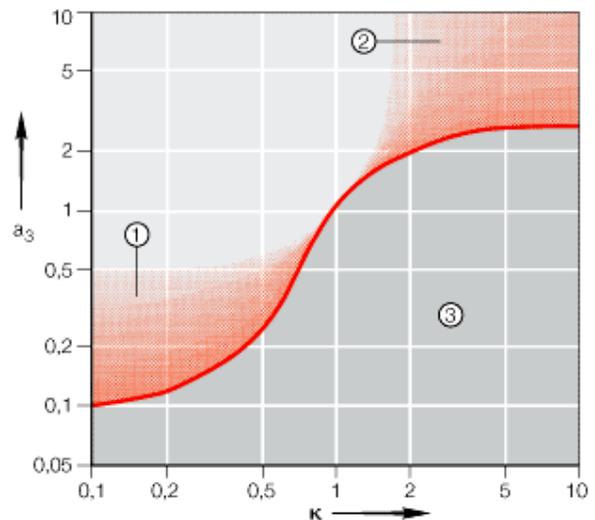


Figura 5-2

5.4.3. Duración de vida SKF

En este método de cálculo desarrollado por el fabricante se tienen en cuenta el efecto de las condiciones de servicio.

Es decir:

- ✓ Magnitud de carga
- ✓ Espesor de película lubricante
- ✓ Aditivos del lubricante
- ✓ Contaminación en el intersticio de lubricación
- ✓ Tipo de rodamiento

Para los rodamientos modernos de alta calidad, la vida nominal o básica se puede desviar significativamente de la vida útil real en una aplicación determinada. La vida útil en una aplicación depende de una variedad de factores, entre los que se encuentra la lubricación, el grado de contaminación, la desalineación, el montaje adecuado y las condiciones ambientales.

La norma **ISO 281:2007** utiliza un factor de vida modificado para complementar la vida nominal básica. El factor de modificación de la vida a_{SKF} aplica el mismo concepto de una carga límite de fatiga P_u , tal como se utiliza en la norma ISO 281:2007. Los valores de P_u se detallan en las tablas de productos. Tal como la norma ISO 281:2007, el factor de

modificación de la vida a_{SKF} toma en cuenta las condiciones de lubricación (relación de viscosidad κ) y un factor η_c para el nivel de contaminación a fines de reflejar las condiciones de funcionamiento utilizando lo siguiente

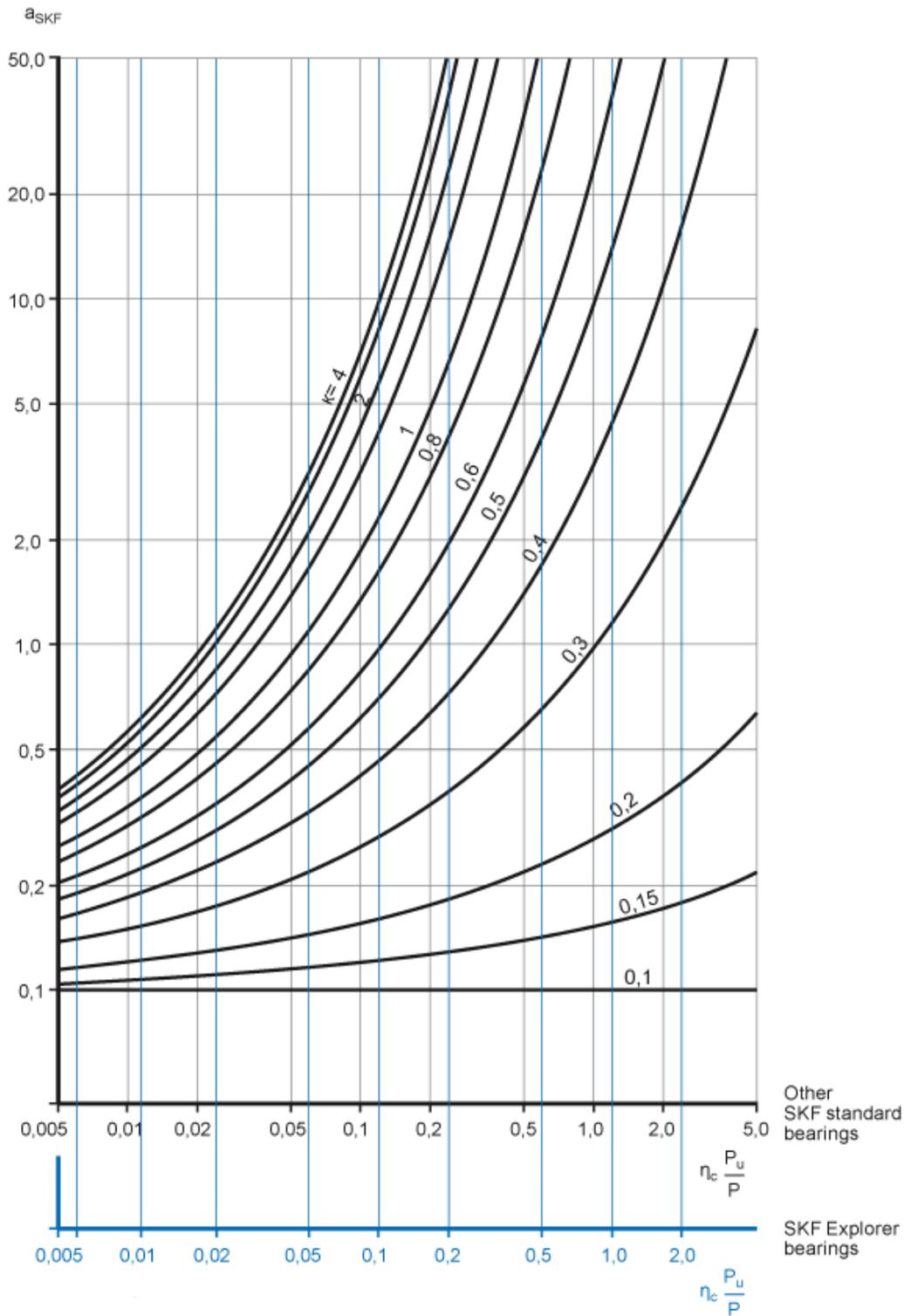
$$L_{nm} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot L_{10} = a_1 \cdot a_{SKF} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Si la velocidad es constante, la vida útil se puede expresar en horas de funcionamiento utilizando la ecuación

$$L_{nmh} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{nm}$$

Donde:

L_{nm}	=	Vida nominal SKF (con un $100 - n^{(1)}$ % de confiabilidad) [millones de revoluciones] (1) El factor n representa la probabilidad de falla, es decir, la diferencia entre el requisito de confiabilidad requerida y el 100%.
L_{nmh}	=	Vida nominal SKF (con un $100 - n^{(1)}$ % de confiabilidad) [horas de funcionamiento]
L_{10}	=	vida nominal básica (con una confiabilidad del 90%) [millones de revoluciones]
a_1	=	factor de ajuste de la vida para una mayor confiabilidad. (Ver tabla 7)
a_{SKF}	=	factor de modificación de la vida SKF. (Figura 5-3 y 5-4)
C	=	capacidad de carga dinámica [kN] (según catalogo)
P	=	carga dinámica equivalente [kN] (según ecuación 5) $P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a$ X:Factor radial Y:Factor axial
n	=	velocidad de giro [rpm]
p	=	exponente de la ecuación de la vida = 3 para los rodamientos de bolas = 10/3 para los rodamientos de rodillos



κ : Relación de Viscosidad $V/V1$

V : viscosidad real del funcionamiento del lubricante

$V1$: viscosidad nominal dependiendo del diámetro medio del rodamiento y de la velocidad de giro $[mm^2/s]$

η_c : factor de contaminación

P_u : carga límite de fatiga

P : carga dinámica equivalente

Si $K > 4$, tomar la curva para $K=4$

Cuando el valor de $\eta_c \cdot P_u/P$ tiende a 0, a_{skf} tiende a 0,1 para todos los valores de K

Figura 5-3: Factor askf para los rodamientos radial de bolas

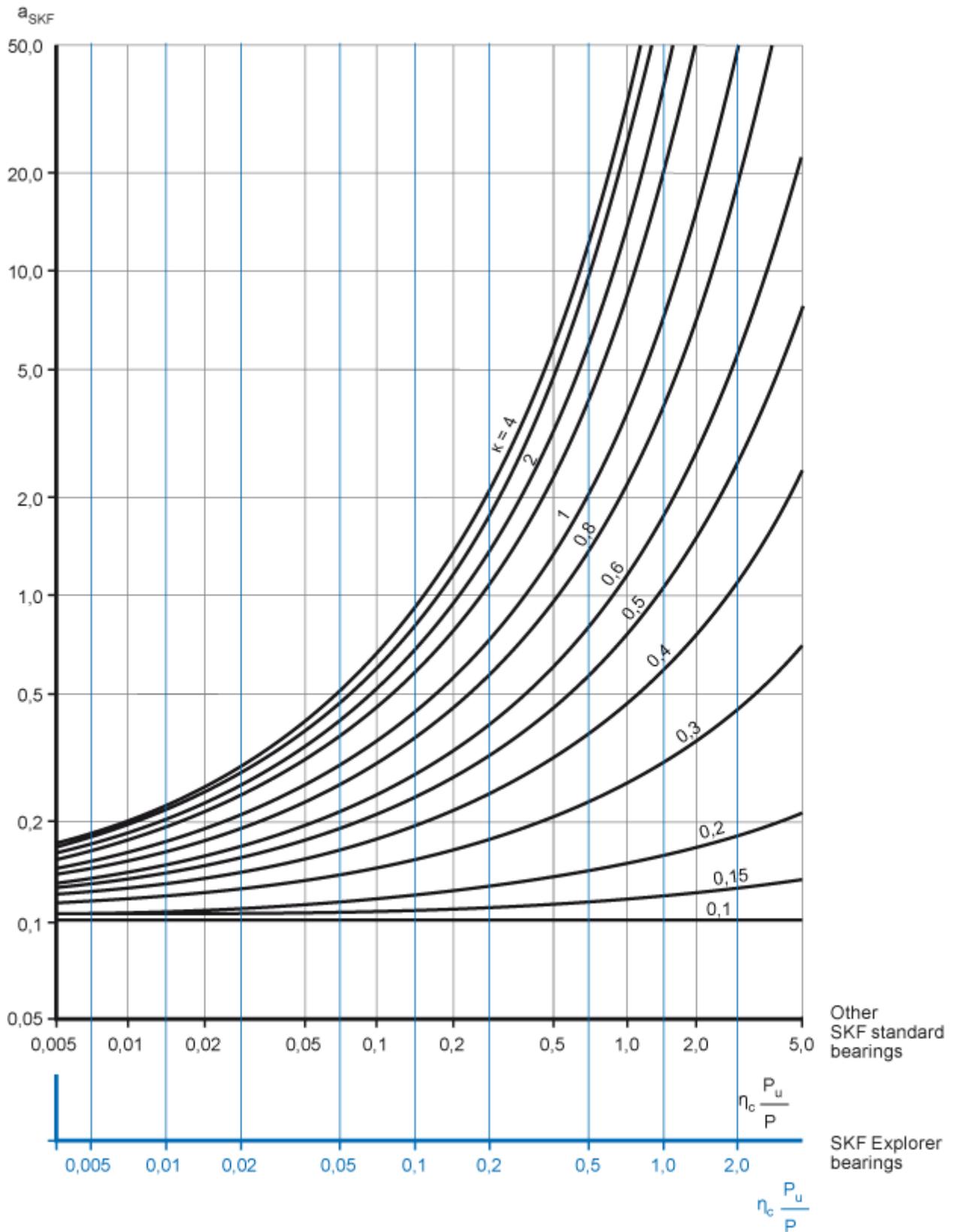


Figura 5-4: Factor askf para los rodamientos radial de rodillos

Condición	Factor η_c ¹⁾	
	para rodamientos con diámetro	
	$d_m < 100$	$d_m \geq 100$ mm
Limpieza extrema <i>Tamaño de las partículas del orden del espesor de la película de lubricante</i> <i>Condiciones de laboratorio</i>	1	1
Gran limpieza <i>Aceite lubricante con filtración muy fina</i> <i>Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y obturados</i>	0,8 ... 0,6	0,9 ... 0,8
Limpieza normal <i>Aceite lubricante con filtración fina</i> <i>Condiciones típicas de los rodamientos engrasados de por vida y con placas de protección</i>	0,6 ... 0,5	0,8 ... 0,6
Contaminación ligera <i>Contaminación ligera del lubricante</i>	0,5 ... 0,3	0,6 ... 0,4
Contaminación típica <i>Condiciones típicas de los rodamientos sin obturaciones integrales, filtrado grueso, partículas de desgaste y entrada de partículas del exterior</i>	0,3 ... 0,1	0,4 ... 0,2
Contaminación alta <i>Entorno del rodamiento muy contaminado y disposición de rodamientos con obturación inadecuada</i>	0,1 ... 0	0,1 ... 0
Contaminación muy alta <i>En caso de contaminación extrema, los valores de η_c pueden estar fuera de la escala, dando lugar a una reducción de la vida útil mayor de lo establecido por la ecuación L_{nm}</i>	0	0

Para el cálculo del factor de contaminación η_c consulte SKF Bearing Select

1) La escala para η_c se refiere sólo a contaminantes sólidos típicos. No se incluye la contaminación por agua u otros fluidos perjudiciales para la vida del rodamiento. En caso de contaminación muy alta ($\eta_c = 0$), el desgaste provocará el fallo y la vida útil del rodamiento puede ser inferior a la vida nominal.

Figura 5-5: valor de η_c en función del diámetro medio y las condiciones de funcionamiento

Con la siguiente gráfica determinamos la viscosidad (v_1) en función del diámetro medio (D_m) y la velocidad de funcionamiento.

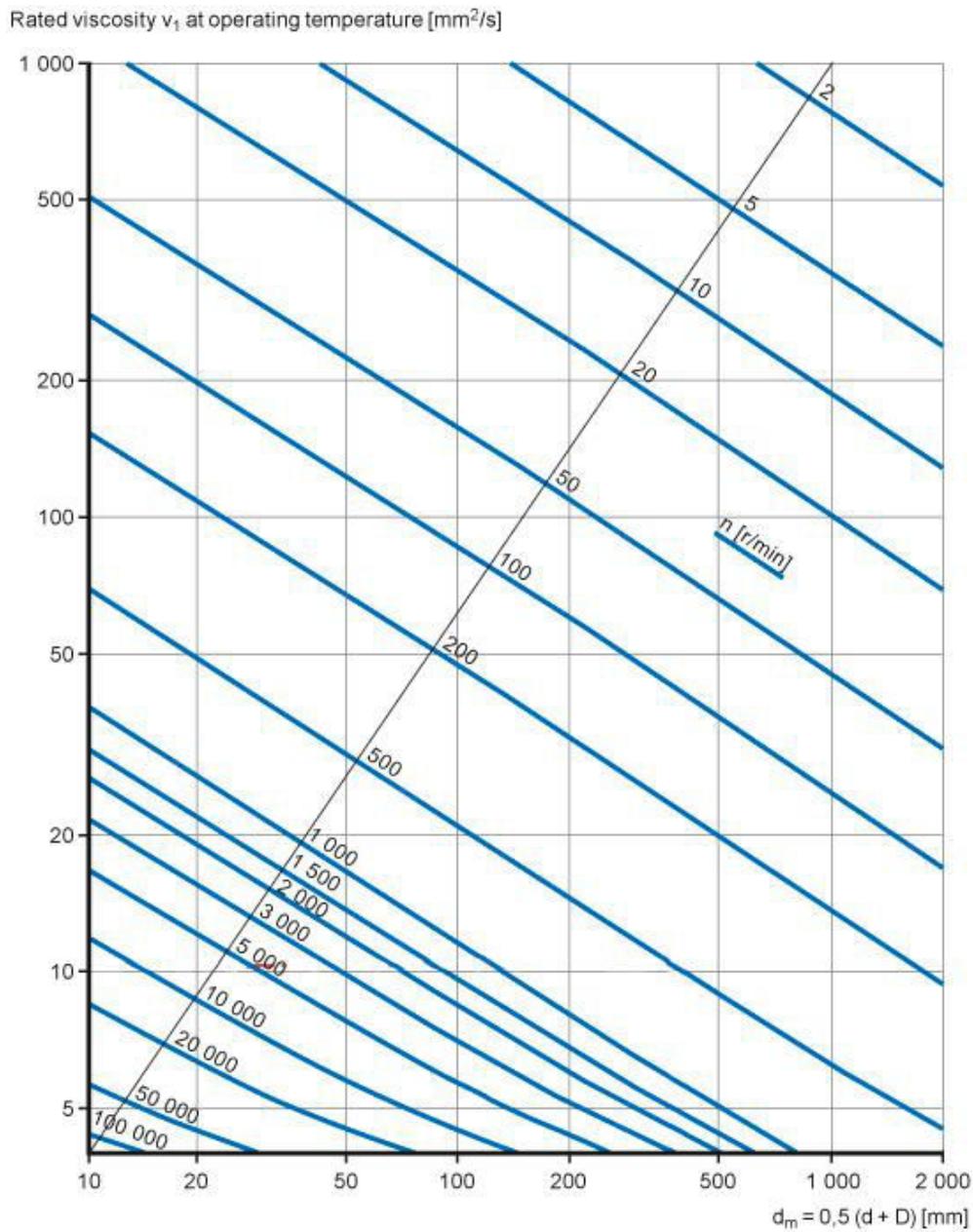
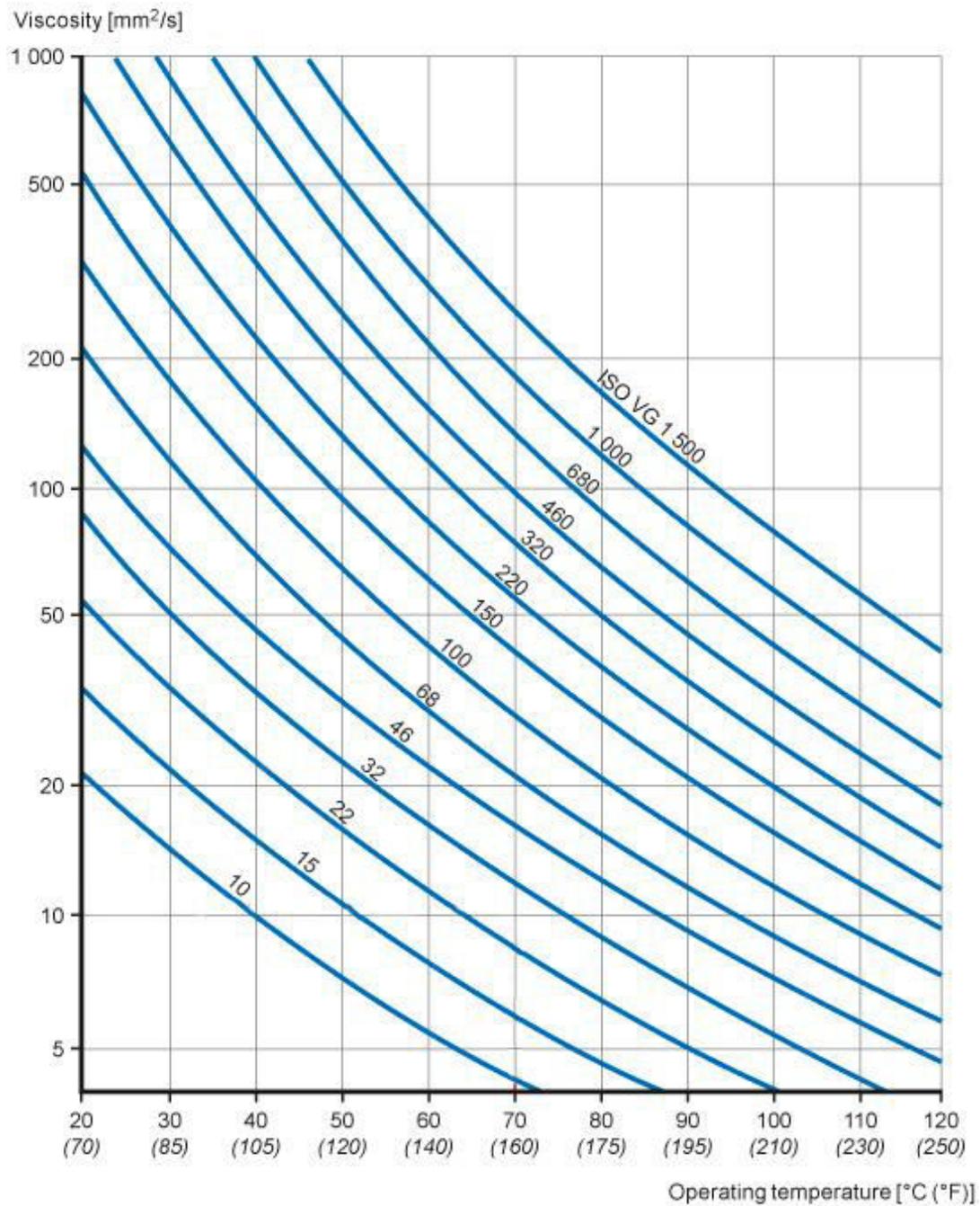
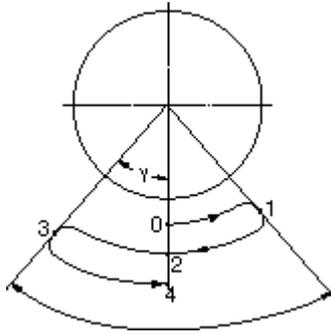


Figura 5-6: Gráfica de viscosidad cinemática requerida para un rodamiento, en función del diámetro medio y la velocidad angular

Mediante la siguiente gráfica se define el aceite a utilizar en función de la viscosidad (V) y la temperatura de funcionamiento.



La siguiente tabla proporciona los factores de conversión que se utilizan habitualmente para la vida de los rodamientos en unidades cuyo funcionamiento no sea de un millón de revoluciones.



Unidades básicas	Factor de conversión			
	Millones de revoluciones	Horas de funcionamiento	Millones de kilómetros recorridos	Millones de ciclos de oscilación ¹⁾
1 millón de revoluciones	1	$\frac{10^6}{60 n}$	$\frac{\pi D}{10^3}$	$\frac{180}{2 \gamma}$
1 hora de funcionamiento	$\frac{60 n}{10^6}$	1	$\frac{60 n \pi D}{10^9}$	$\frac{180 \times 60 n}{2 \gamma 10^6}$
1 millón de kilómetros	$\frac{10^3}{\pi D}$	$\frac{60 n \pi D}{10^9}$	1	$\frac{180 \times 10^3}{2 \gamma \pi D}$
1 millón de ciclos de oscilación ¹⁾	$\frac{2 \gamma}{180}$	$\frac{2 \gamma 10^6}{180 \times 60 n}$	$\frac{2 \gamma \pi D}{180 \times 10^3}$	1

D = diámetro de la rueda del vehículo [m]

n = velocidad de giro [rpm]

γ = amplitud de oscilación (ángulo de desviación máxima desde la posición central) [°]

1) No válido para amplitudes pequeñas (γ < 10°)

5.5. Duración de funcionamiento

La duración de vida es la duración realmente alcanzada por un rodamiento. Puede presentar una considerable desviación respecto a la duración de vida nominal calculada.

Las posibles causas son el desgaste y/o la fatiga por:

- ✓ parámetros de funcionamiento diferentes
- ✓ error de alineación entre el eje y el alojamiento
- ✓ juego de funcionamiento excesivamente reducido o elevado
- ✓ suciedad
- ✓ lubricación insuficiente
- ✓ temperatura de funcionamiento excesivamente alta
- ✓ movimientos oscilantes del rodamiento, con ángulos de oscilación muy reducidos (formación de estrías)
- ✓ sollicitación por vibraciones y formación de estrías
- ✓ cargas a impulsos muy elevadas (sobrecarga estática)
- ✓ daños durante en el montaje.

Debido al gran número de posibilidades de montaje y de funcionamiento, no puede predecirse **exactamente** la duración de vida de los rodamientos. El método más seguro es la comparación con casos de aplicación semejantes.