

Ingeniería

Lubricación

Lubricación

Una condición esencial para:

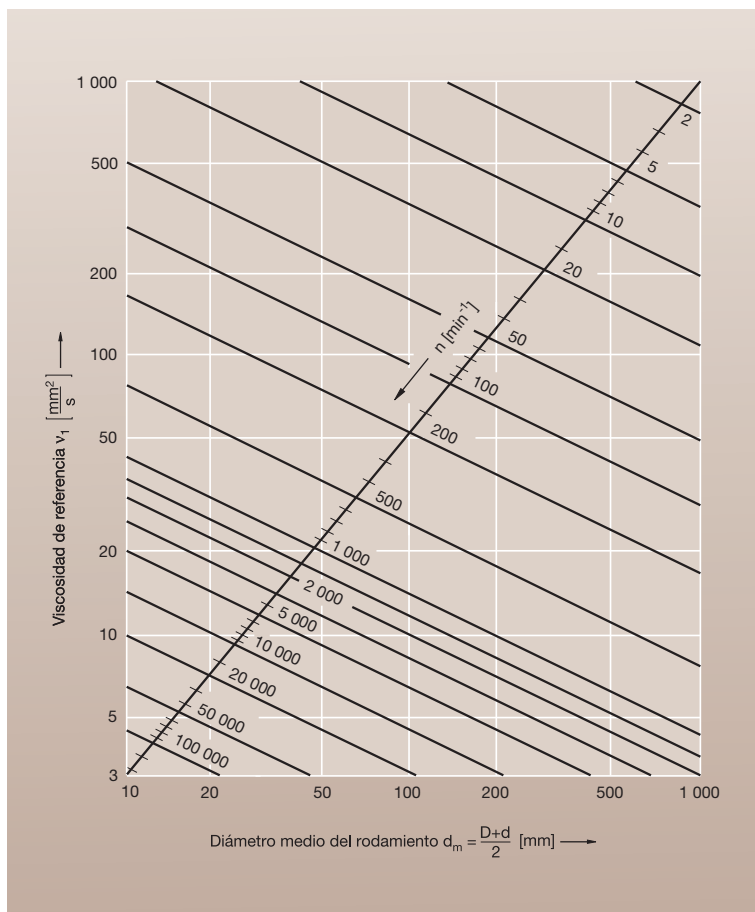
- alcanzar una larga duración de servicio,
 - funcionar sin desgaste y
 - con reducido nivel de vibraciones
- es una película lubricante que separa los elementos rodantes en el área contacto.

Esto se consigue si:

- se garantiza en todo momento la presencia de lubricante en todos los puntos de contacto
- se determina el procedimiento de lubricación adecuado para la velocidad de giro exigida y
- se selecciona un lubricante con las propiedades adecuadas.

Viscosidad del lubricante

La condición de la película lubricante se determina mediante la relación de viscosidades κ , que se define como el cociente entre la viscosidad de servicio ν y la viscosidad de referencia ν_1 . La viscosidad de referencia ν_1 es una función del tamaño del rodamiento y de la velocidad y puede obtenerse del diagrama 1. La viscosidad de servicio es la viscosidad realmente existente en el lubricante durante el funcionamiento. Esta viscosidad es una función de la temperatura de funcionamiento y de la viscosidad básica del lubricante y se determina mediante el diagrama 2. En el caso de las grasas, se utiliza la viscosidad del aceite base. Para un funcionamiento con éxito, se debe obtener una viscosidad, a la temperatura de servicio, que sea, como mínimo, el doble de la viscosidad de referencia,



1: Viscosidad de referencia ν_1

Ingeniería

Lubricación

$\kappa = v/v_1 \geq 2$. Mayores relaciones de viscosidades no conducen a mejorar la película lubricante y aumentan el rozamiento.

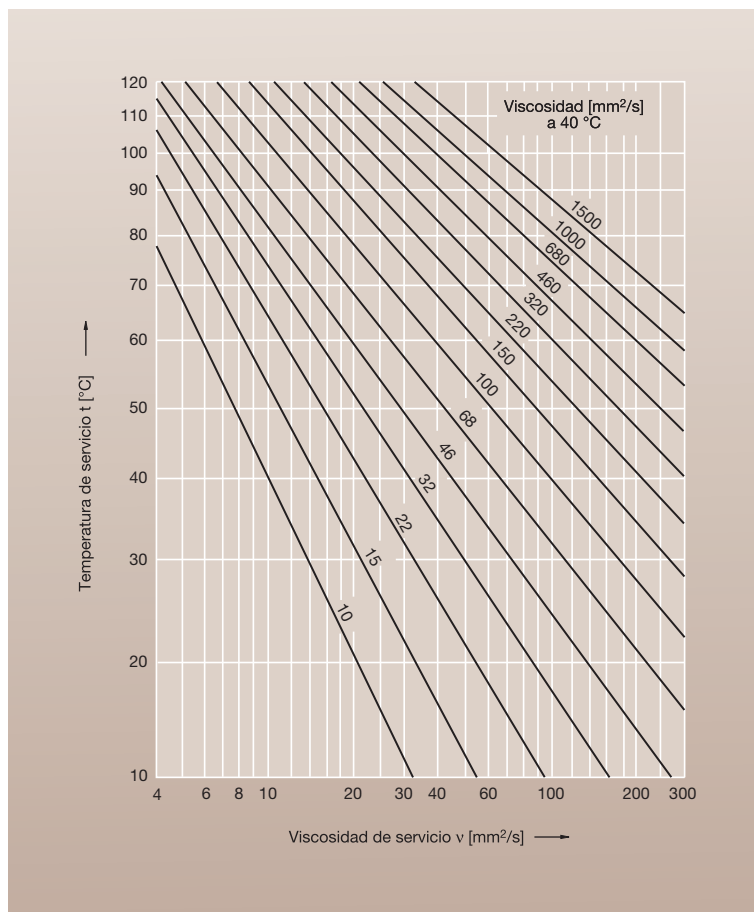
Sistemas de lubricación

La elección del sistema de lubricación se determina en función de la velocidad máxima de rotación en funcionamiento exigida a los rodamientos. En las tablas de este catálogo se especifican, para cada rodamiento, las velocidades máximas alcanzables con los dos procedimientos de lubricación más importantes para los rodamientos de superprecisión, lubricación con grasa y lubricación con cantidades mínimas de aceite. Estas velocidades, válidas para rodamientos individuales, se determinan mediante la multiplicación por factores de reducción según la tabla 14, para disposiciones rígidas de rodamientos precargados.

En el caso de los rodamientos de superprecisión, se recurre mayormente a la lubricación con grasa. Ésta aporta de manera sencilla, entre otras, las ventajas siguientes:

- Escaso rozamiento
- Lubricación de por vida (“for life”)
- Diseños más sencillos
- Menores costes de sistema.

La lubricación con cantidades mínimas de aceite se aplica cuando la velocidad del husillo es demasiado elevada para la lubricación con grasa. Si se ha funcionado durante un largo período de tiempo con elevados valores característicos de velocidad, para alcanzar la duración de servicio exigida al lubricante, puede ser necesaria la lubricación con cantidades mínimas de aceite.



2: Diagrama V-T

Esto también puede ser adecuado en aquellos casos en los que la lubricación con grasa es aún posible, según el valor característico de velocidad, porque la duración en servicio de la grasa (fig. 5) disminuye con el incremento de la velocidad de giro.

Ingeniería

Lubricación

Lubricación con grasa

El desarrollo, en el caso de las grasas y los rodamientos, se ha traducido en un aumento considerable del rendimiento, sobre todo, en lo que respecta a las velocidades alcanzables. Hoy, todavía son posibles valores característicos de velocidad $n \cdot d_m$ hasta 2 000 000 mm/min.

El empleo de rodamientos para husillos inicialmente engrasados y obturados "for life" ofrece otras ventajas como, por ejemplo, una máxima limpieza, ya que el interior del rodamiento está protegido contra la suciedad. La manipulación durante el montaje también resulta más sencilla.

La tabla 3 ofrece los datos de las grasas adecuadas para los rodamientos de superprecisión.

FAG ARCANOL L075 es una grasa para uso a altas velocidades en el amplio ámbito de aplicación de los rodamientos para husillos altamente revolucionados de todo tipo, hasta una temperatura continua de 80 °C, medida en el anillo exterior.

Debido a la refrigeración usual en los electromandrilos, éstos apenas alcanzan los 80 °C, por lo que la grasa Arcanol L075 puede calificarse como grasa estándar para rodamientos para husillos.

FAG ARCANOL L210 también se emplea a altas velocidades y, gracias a la alta viscosidad de su aceite base, entra en servicio a temperaturas permanentes de más de 80 °C hasta aprox. 100 °C.

FAG ARCANOL L055 es una grasa para altas presiones que demuestra con creces su eficacia en los rodamientos para los extremos de los husillos a bolas, en platos divisores y, por ejemplo, también

Grasa ARCANOL de FAG	L075	L210	L055
Designación DIN 51 502	KE3K-50	KHC3P-40	KP2N-40
Espesante	Poliurea	Poliurea	Litio
Aceite base	PAO/éster	PAO/éster	Aceite mineral + éster
Viscosidad del aceite base mm ² /s			
a 40 °C	22	65	85
a 100 °C	5	10	12,5
Clase de consistencia	3	3	2
Temperatura de servicio sin reducción por tiempo de parada °C	hasta 80	hasta 100	hasta 70
Valor máximo característico de velocidad* mm/min	2 000 000	1 300 000	800 000
Utilizada como	Grasa para altas velocidades	Grasa para altas presiones	
Grasa estándar para	HSS,HCS,XCS B, HCB...2RSD		
Peso específico (aprox.) g/cm ³	0,92	0,88	0,9

* El valor característico de velocidad $n \cdot d_m$ es el producto del diámetro medio del rodamiento y de la velocidad de giro (valores válidos para contacto puntual)

3: Grasas para rodamientos de superprecisión

en los rodamientos para las puntas de centrado de cabezales móviles.

Cantidades de grasa

Cada uno de los diseños de aplicaciones de rodamientos precisa de cantidades de grasa diferentes. Las recomendaciones de la tabla 4 se han ajustado al espacio en el rodamiento que no se ve afectado

por las piezas en rotación. Indicaciones para el engrase se encuentran en el capítulo Instrucciones de montaje (página 204 y siguientes).

4: Cantidades recomendadas de grasa en cm³
(página siguiente)



Ingeniería

Lubricación

Índice del agujero	Cantidad de grasa/Serie de rodamiento									
	HS719	HS70	B719	B70	B72	N10	N19	NN30	NNU49	2344
	HC719	HC70	HCB719	HCB70	HCB72					2347
	XC719	XC70	XCB719	XCB70	XCB72					
	FD									
	cm ³									
6		0,12		0,04						
7		0,13		0,06						
8		0,17		0,11						
9		0,21		0,10						
00	0,17	0,26	0,09	0,17	0,26					
01	0,18	0,28	0,10	0,21	0,36					
02	0,28	0,46	0,17	0,32	0,48					
03	0,32	0,58	0,17	0,42	0,68					
04	0,58	0,98	0,36	0,76	1,12					
05	0,68	1,14	0,40	0,86	1,44					
06	0,92	1,72	0,42	1,12	2,10	0,69		0,76		3,90
07	1,18	2,20	0,64	1,74	3,00	0,91		0,95		5,00
08	1,62	2,60	1,36	2,35	3,80	1,15		1,14		6,10
09	2,10	3,65	1,60	3,00	4,55	1,44		1,61		7,80
10	2,35	4,00	1,74	3,30	5,45	1,56	0,81	1,74		8,35
11	3,40	5,95	2,20	4,60	6,50	2,25	1,05	2,55		12,20
12	3,60	6,40	2,50	4,95	8,00	2,45	1,13	2,70		12,20
13	3,90	6,80	2,65	5,30	9,35	2,60	1,20	2,85		13,30
14	5,80	9,20	4,35	7,10	10,80	3,10	2,05	4,20	2,90	17,80
15	6,10	9,70	4,60	7,50	12,90	3,30	2,20	4,45	3,10	18,90
16	7,00	12,80	4,90	9,65	12,30	4,30	2,30	6,10	3,25	25,60
17	8,55	13,40	6,80	10,30	18,30	4,50	3,15	6,40	4,50	27,80
18	9,40	17,70	7,10	13,30	19,10	5,75	3,30	7,85	4,75	38,90
19	9,85	18,40	7,45	13,90	26,10	6,00	3,45	8,20	4,95	38,90
20	12,80	19,20	9,70	14,60	27,20	6,20	4,05	8,50	6,25	44,40
21	13,30	24,60	10,10	15,00	36,30	7,75	4,25	10,60	6,50	61,10
22	14,70	28,20	10,40	21,90	43,90	8,50	4,45	13,70	6,75	61,10
24	17,90	30,30	14,20	23,60	38,80	9,05	5,85	15,90	10,10	66,70
26	24,00	43,70	18,10	36,10	41,90	14,90	7,65	21,20	13,60	105,60
28	25,60	46,30	19,30	38,30	58,60	15,70	8,05	24,10	12,10	116,70
30	37,80	57,10	28,40	44,70	81,30	19,00	12,00	29,30	21,20	138,90
32	39,90	69,70	30,00	58,20	102,90	23,00	12,60	37,20	22,40	172,20
34			31,70	65,30	120,40	30,80	13,30	48,80	23,60	227,80
36			47,40	94,90	125,70	38,30	19,10	63,50	32,70	316,70
38			50,00	99,10	155,40	55,80	20,00	67,40	34,20	311,10
40			70,60	118,30	187,80	67,90	29,70	86,70	54,50	411,10
44			68,30	172,60	250,10	72,50	32,10	110,10	59,00	522,20
48			73,70	185,30		112,50	34,50	127,50	63,60	622,20
52			118,20	267,00		119,10	52,60	177,30	109,50	833,30
56			126,00	283,90		157,70	55,90	196,70	116,60	850,00

Los rodamientos para husillos HS, HC y XC están disponibles como rodamientos engrasados y obturados, referencias HSS, HCS y XCS.
Los rodamientos para husillos B719, B70 y algunos de la serie B72 también se pueden suministrar engrasados y obturados, sufijo 2RSD.

Ingeniería

Lubricación

Duración en servicio de la grasa

La duración en servicio de la grasa expresa el tiempo en el que se mantiene el rodamiento en funcionamiento gracias al lubricante aplicado.

Ésta depende de los siguientes factores:

- Cantidad de grasa
- Tipo de grasa
- Tipo de rodamiento
- Velocidad de giro
- Temperatura
- Las condiciones de montaje, servicio y ambientales.

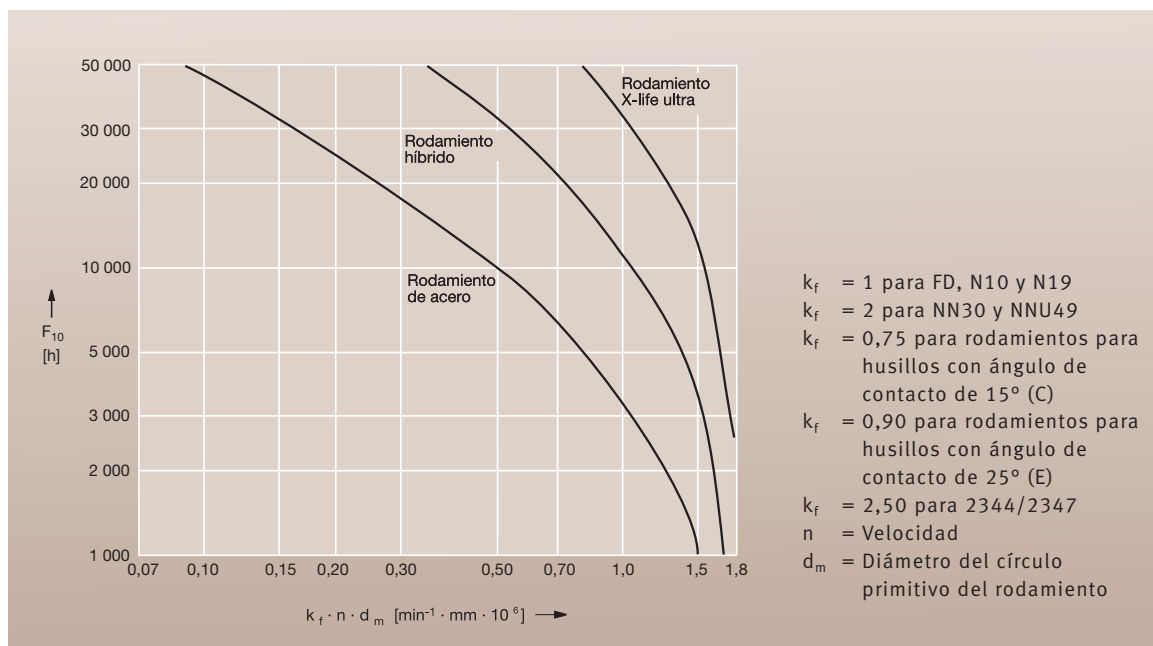
En numerosos casos de aplicación, la duración en servicio de la grasa constituye, frente a la duración por fatiga, un factor decisivo. Dicha duración en servicio puede obtenerse del diagrama 5.

El diagrama es válido para grasas para altas velocidades. También han de tenerse en cuenta las condiciones ambientales y operativas desfavorables como, por ejemplo, la humedad, las vibraciones o los caudales de aire atravesando los rodamientos.

Para el funcionamiento con velocidades variables, con períodos de tiempo conocidos, la duración total en servicio de la grasa se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$F_{10\text{tot}} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{F_{10i}}}$$

Aquí, q_i representa el intervalo de tiempo, en porcentaje y F_{10i} es la duración en servicio de la grasa a una velocidad individual dentro del colectivo de velocidades.



5: Duración en servicio de la grasa F_{10}

Ingeniería

Lubricación

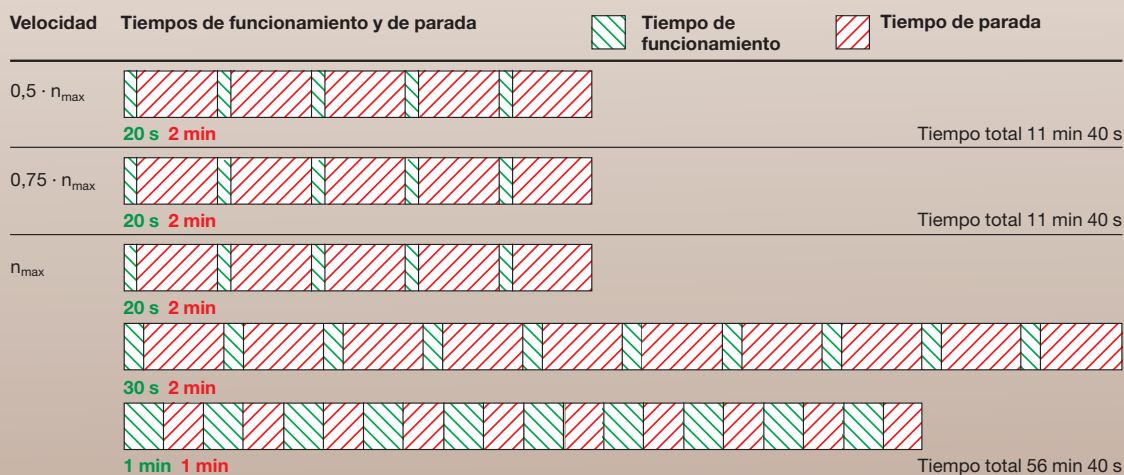
Reparto de la grasa

La puesta en marcha correcta, en el caso de rodamientos lubricados con grasa, determina en gran medida el rendimiento de un rodamiento o su duración en servicio. Se recomienda un servicio Start-Stop para el reparto de la grasa. Gracias a ello, se evitan altas temperaturas peligrosas en los puntos de contacto. En la fase Stop, se produce una compensación de la temperatura de los componentes individuales del

rodamiento, de modo que no tienen lugar aumentos peligrosos de la precarga. Se recomienda controlar la evolución de la temperatura durante el reparto de la grasa y también durante el siguiente servicio continuo, debiendo hallarse el sensor térmico lo más cerca posible del anillo exterior. Es imprescindible evitar un aumento progresivo de la temperatura, como sucede en el caso de una precarga excesiva. El reparto de la grasa concluye cuando se alcanza

una temperatura estable en el rodamiento. A máximas velocidades, el proceso de rodadura debe llevarse a cabo inicialmente a velocidad media, antes de operar a la máxima velocidad. La figura 6 muestra las recomendaciones para el reparto de la grasa en rodamientos abiertos y obturados para husillos. Las cantidades de grasa (tabla 4) y el reparto de la misma (figura 6) se han puesto a disposición, para su uso en el taller, en tarjetas DIN A5.

El proceso de puesta en servicio se compone de varios ciclos de funcionamiento Start-Stop con diferentes velocidades de giro y varios tiempos de servicio, siendo sumamente importantes los tiempos de parada después de cada funcionamiento. El número necesario de ciclos puede ser diferente en función del tamaño y de la cantidad de rodamientos, de la velocidad de giro máxima admisible y del entorno y partes adyacentes del rodamiento.



Realizar otros ciclos con tiempos de funcionamiento más prolongados y períodos de parada más cortos, hasta que se alcance la temperatura de régimen.

6: Recomendaciones para el reparto de la grasa en rodamientos abiertos y obturados para husillos

Ingeniería

Lubricación

Lubricación con cantidades mínimas de aceite

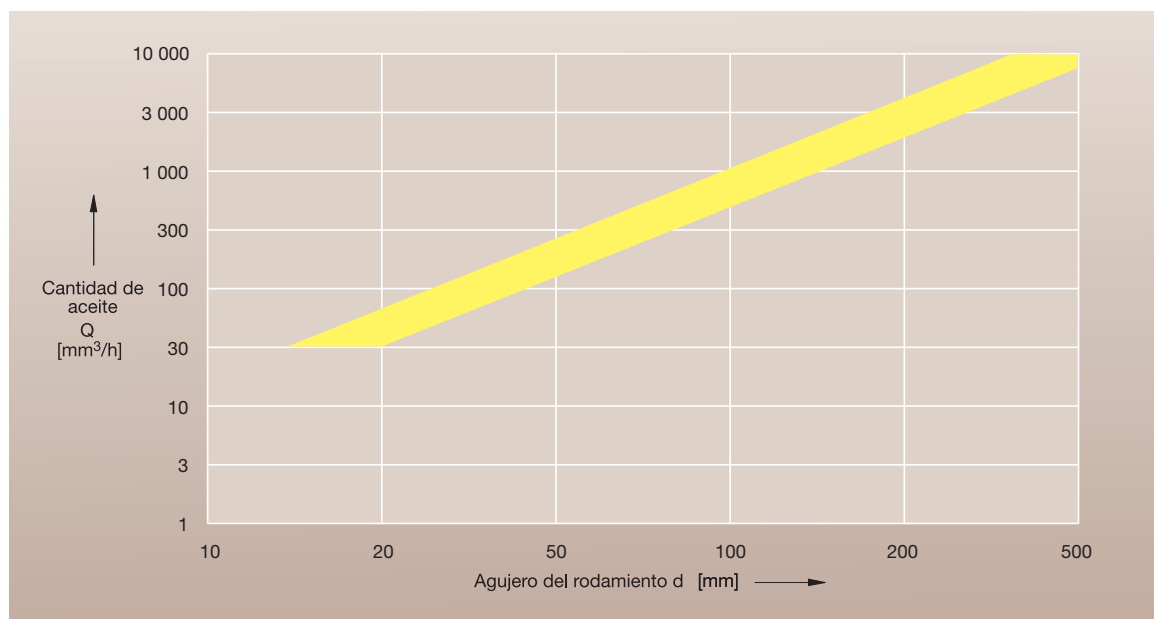
Los rodamientos FAG para husillos requieren muy poco aceite. Basta con aplicar cantidades del orden de aprox. 100 mm³/h si se garantiza que están cubiertas todas las superficies de rodadura y deslizamiento. Dicha lubricación con cantidad mínima origina escasas pérdidas por rozamiento.

La lubricación con cantidades mínimas de aceite se aplica cuando la velocidad del husillo es demasiado elevada para la lubricación con grasa.

El procedimiento estándar es hoy en día la lubricación con aire-aceite. En las tablas de rodamientos se

especifican las velocidades que se alcanzan con una lubricación mínima.

Los aceites de denominación ISO VG 68 + EP han probado su eficacia, es decir: viscosidad nominal 68 mm²/s a 40 °C y aditivos para extrema presión. El diagrama 7 ofrece los valores orientativos para la cantidad de aceite en el caso de la lubricación con aire-aceite. Las relaciones de flujo específicas en el rodamiento pueden influir claramente en la cantidad de aceite. Para los rodamientos híbridos, es válida la zona superior de las indicaciones para las cantidades de aceite y, para los rodamientos de acero, se utiliza la zona inferior de dichas indicaciones.



7: Cantidad de aceite para rodamientos FAG para husillos en la lubricación con aire-aceite

Ingeniería

Lubricación

Recomendaciones para la lubricación con aire-aceite

Para los rodamientos para husillos B, HCB, XCB, HS, HC, XC y también para la ejecución Direct-Lube (DLR):

Clase de limpieza del aceite:	13/10 (ISO 4406)
Pureza del aire:	Tamaño máx. de partícula 0,01 μm
Sequedad del aire:	Punto de condensación a +2° C
Presión de aire en el conducto de alimentación:	Aprox. 3 bar
Diámetro de las boquillas:	0,5 hasta 1 mm
Número de boquillas:	Una boquilla extra para cada rodamiento y una boquilla por cada 150 mm de círculo primitivo
Diseño de las boquillas:	Alimentación paralela al eje de giro del husillo, entre el borde del anillo interior y el agujero de la jaula.
Diámetro primitivo de inyección:	Ver las tablas de los rodamientos (E_{tk}) (Para los rodamientos para husillos con jaula TX, los datos de las tablas pueden desviarse ligeramente).
Tubos de alimentación:	Diámetro interior 2 hasta 2,5 mm, tubo de plástico flexible y transparente, por lo que es visible el flujo de aceite por la pared interior del tubo,
Longitud:	Como mínimo 1 m, óptimo 4 m hasta aprox. 10 m. Enroscar con aprox. 5 vueltas el eje central en posición horizontal o inclinarlo hasta 30° a no más de aprox. 500 mm frente a la boquilla. Tras la interrupción de la lubricación, el aceite se acumula bajo las enroscaduras y vuelve a estar rápidamente disponible para una nueva puesta en marcha. Ello posibilita un breve tiempo de ejecución para el arranque del husillo.
Salidas de aceite:	A ambos lados de cada rodamiento, las acumulaciones de aceite pueden originar un calentamiento. Para los husillos verticales, hay que prever una salida debajo de cada rodamiento, para evitar que se lubriquen en exceso los rodamientos situados debajo. Orificios de salida, a ser posible $\geq \varnothing 5$ mm. Todos los orificios de salida de todos los rodamientos de un husillo deben unirse para compensar la presión.

Aparatos de lubricación con aire-aceite:

Cantidades normales de aceite por ciclo de inyección: 3, 5, 10, (30, 60, 100) mm³

Ciclos normales de inyección por hora: De 6 hasta 10 veces

Es posible solicitar al fabricante otros datos referentes a los aparatos de lubricación con aire-aceite.

Ingeniería

Duración de vida de los rodamientos de superprecisión

Duración de vida de los rodamientos de superprecisión

Los rodamientos de superprecisión deben guiar las partes de las máquinas de forma sumamente precisa y transmitir fuerzas incluso a muy altas velocidades. Su selección se basa fundamentalmente en los criterios siguientes:

- Precisión
 - Rigidez
 - Comportamiento de la rodadura.
- Estos criterios sólo perdurarán durante el periodo de tiempo esperado si los rodamientos funcionan sin desgaste. El requisito imprescindible para ello reside en una película hidrodinámica de lubricante, con suficiente capacidad de carga, en los puntos de contacto del rodamiento. Bajo estas condiciones, los rodamientos

adquieren resistencia a la fatiga en gran variedad de aplicaciones. En el caso del diseño resistente a la fatiga, la duración en servicio del lubricante (ver la tabla 5, Duración en servicio de la grasa) limita en la mayoría de los casos la duración de vida del rodamiento.

Bajo este aspecto, para la duración en servicio son influencias decisivas las presiones de Hertz que aparecen en las áreas de contacto y la cinemática del rodamiento. Es preferible determinar individualmente la disposición de los rodamientos mediante la ayuda de programas especiales de cálculo, especialmente para unidades de alto rendimiento. Puesto que las averías a causa de la fatiga no desempeñan, en la práctica, un papel importante en los rodamientos de superprecisión, un cálculo de la

duración de vida L_{10} según DIN ISO 281, no es relevante para la evaluación de la duración en servicio de los rodamientos.

Carga sobre el rodamiento

Carga estática

En los rodamientos de superprecisión, las cargas estáticas, es decir, las cargas sin rotación de los anillos, son comprobadas en muy raras ocasiones. Como medida de la sollicitación estática, se calcula el factor de esfuerzos estáticos f_s .

$$f_s = C_0/P_0$$

f_s = Factor de esfuerzos estáticos
 C_0 = Capacidad de carga estática [kN]

P_0 = Carga estática equivalente [kN]

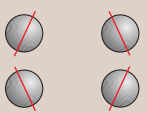
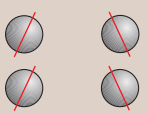
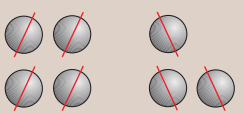
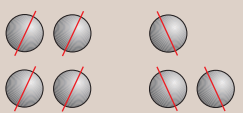
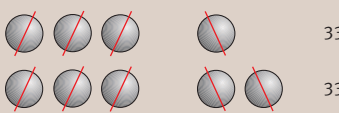
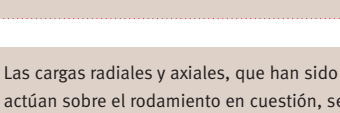
La carga estática equivalente se calcula con las cargas radiales y axiales efectivas existentes (ver abajo). Con varios rodamientos, la carga exterior se distribuye individualmente entre cada rodamiento según la tabla 8. En cada caso, el rodamiento más cargado deberá ser verificado en cuanto a su capacidad de carga.

Rodamientos para husillos

Ángulo de contacto $\alpha = 15^\circ$

$P_0 = F_r$ [kN]
 para $F_a/F_r \leq 1,09$

$P_0 = 0,5 \cdot F_r + 0,46 \cdot F_a$ [kN]
 para $F_a/F_r > 1,09$

Disposición	Carga en el rodamiento más cargado	
	F_a	F_r
	100 %	60 %
	100 %	60 %
	50 %	60 %
	50 %	60 %
	33 %	60 %
	33 %	60 %

Las cargas radiales y axiales, que han sido calculadas a partir de las cargas exteriores y que actúan sobre el rodamiento en cuestión, se deben disponer con la distancia adecuada entre los rodamientos.

8: Distribución de cargas en cada posición de rodamiento para varios rodamientos

Ingeniería

Duración de vida de los rodamientos de superprecisión

Ángulo de contacto $\alpha = 25^\circ$

$$P_0 = F_r \text{ [kN]}$$

para $F_a/F_r \leq 1,31$

$$P_0 = 0,5 \cdot F_r + 0,38 \cdot F_a \text{ [kN]}$$

para $F_a/F_r > 1,31$

Para conservar la precisión del rodamiento, el factor de esfuerzos estáticos debe ser superior a 3,0. Únicamente en el caso de una carga axial surgida de forma centrada y sumamente breve (fuerza de expulsión de la herramienta), se puede admitir un factor de esfuerzos estáticos $f_s \geq 1$ para rodamientos híbridos.

Rodamiento axial de bolas de contacto angular de doble efecto

$$P_0 = F_a$$

El factor de esfuerzos estáticos debe ser superior a 2,5.

Rodamientos FD y rodamientos de rodillos cilíndricos

$$P_0 = F_r$$

El factor de esfuerzos estáticos debe ser superior a 3,0.

Resistencia a la fatiga

Para verificar la resistencia a la fatiga, el factor de carga f_{s^*} se calcula según la siguiente ecuación:

$$f_{s^*} = C_0/P_{0^*}$$

El cálculo de la carga equivalente P_{0^*} se efectúa según las fórmulas para el cálculo de la carga estática equivalente, pero con las mismas fuerzas dinámicas que para la carga equivalente. El factor de carga es una medida para estimar si, en el presente caso, existe una resistencia a la

(D-d)/2	Contacto puntual			Contacto lineal		
	Clase de limpieza de aceite necesaria según ISO 4406	Ratio de filtración necesario según ISO 4572	Tamaño máximo ¹⁾ de partículas	Clase de limpieza de aceite necesaria según ISO 4406	Ratio de filtración necesario según ISO 4572	Tamaño máximo de partículas
mm			μm			μm
hasta 12,5	11/8	$\beta_3 \geq 200$	10	12/9	$\beta_3 \geq 200$	20
más de 12,5 hasta 20"	12/9	$\beta_3 \geq 200$	15	13/10	$\beta_3 \geq 75$	25
más de 20 hasta 35"	13/10	$\beta_3 \geq 75$	25	14/11	$\beta_3 \geq 75$	40
más de 35	14/11	$\beta_3 \geq 75$	40	14/11	$\beta_3 \geq 75$	75

La clase de limpieza del aceite, como medida de la probabilidad de arrollar partículas que reducen la duración de vida del rodamiento, puede ser determinada mediante ensayos, por ejemplo, del fabricante del filtro o entidad oficial. Las clases de limpieza se alcanzan si el volumen total de aceite en circulación pasa por el filtro en pocos minutos. Antes de la puesta en marcha del rodamiento, es preciso efectuar un proceso de lavado para garantizar una buena limpieza. Un ratio de filtración $\beta_3 \geq 200$ supone, por ejemplo, que en el llamado ensayo Multi-Pass sólo una partícula de 200 partículas $> 3 \mu\text{m}$ pasa por el filtro. Filtros más gruesos, como $\beta_3 \geq 75$ no deben emplearse debido a las consecuencias negativas también para los grupos restantes en el circuito de aceite.

¹⁾ Los datos se aplican cuando en la zona de la pista de rodadura sometida a cargas elevadas no se encuentran partículas más grandes y con dureza $> 50 \text{ HRC}$.

9: Valores orientativos para las clases de limpieza de aceite recomendadas

Ingeniería

Duración de vida de los rodamientos de superprecisión

fatiga. Si el factor de carga es $f_s > 8$, los rodamientos pueden tener una resistencia a la fatiga infinita. El cálculo individual de las presiones de Hertz (ver página 197) y la verificación de la cinemática del rodamiento es mucho más precisa mediante un programa de cálculo (ver Apéndice, página 226). Si se cumplen otras condiciones adicionales respecto a la película lubricante separadora ($\kappa \geq 2$) junto a la máxima limpieza, no es necesario un cálculo de la duración de vida. Si estas condiciones no se cumplen, un cálculo adicional de duración de vida ampliada según DIN ISO 281, hoja 1, para un cálculo manual, o según DIN ISO 281, hoja 4, para un cálculo con ordenador, puede ser utilizado para evaluar la influencia de la lubricación y de la contaminación del lubricante en la duración en servicio.

Limpieza

La limpieza en las superficies de contacto desempeña un papel sumamente importante en los rodamientos de superprecisión, debido a la gran influencia relativa sobre la duración en servicio de los rodamientos sometidos, en general, a una carga ligera. Los valores orientativos para la pureza del lubricante en rodamientos con lubricación con aceite, se derivan de la hidráulica y se pueden obtener de la tabla 9. Para rodamientos lubricados con grasa, la máxima limpieza se alcanza, en la práctica, si el fabricante engrasa los rodamientos y los obtura con tapas de obturación.

Componente	Límites de temperatura
Jaula	100 °C
Obturaciones	100 °C
Lubricante	ver capítulo Lubricación
Anillos del rodamiento	150 °C

10: Límites de temperatura de los componentes del rodamiento

Temperaturas de funcionamiento

Los anillos de los rodamientos de superprecisión son dimensionalmente estables hasta 150 °C. Hasta este valor, la influencia de la temperatura en las características del material no debe ser tenida en cuenta. Por otra parte, es preciso tener en cuenta los límites de temperatura de la jaula, de la obturación del rodamiento y del lubricante (ver la tabla 10). Para aplicaciones de rodamientos de superprecisión a mayores temperaturas, se ruega ponerse en contacto con el servicio de ingeniería del Grupo Schaeffler Industrial.

Ingeniería

Velocidad de giro en función de los ajustes

Velocidad de giro en función de los ajustes

Los rodamientos FAG de super-precisión son adecuados para las máximas velocidades de giro. Valores característicos de velocidad $n \cdot d_m$ hasta $2,0 \cdot 10^6$ mm/min son posibles con lubricación con grasa, mientras que con lubricación con aceite se pueden alcanzar valores de $3,0 \cdot 10^6$ mm/min y superiores. Estas velocidades originan elevadas fuerzas centrífugas, que influyen en los anillos interiores y provocan su expansión. Esta expansión hace que el anillo interior se eleve separándose del eje, creando un espacio entre dicho anillo interior y

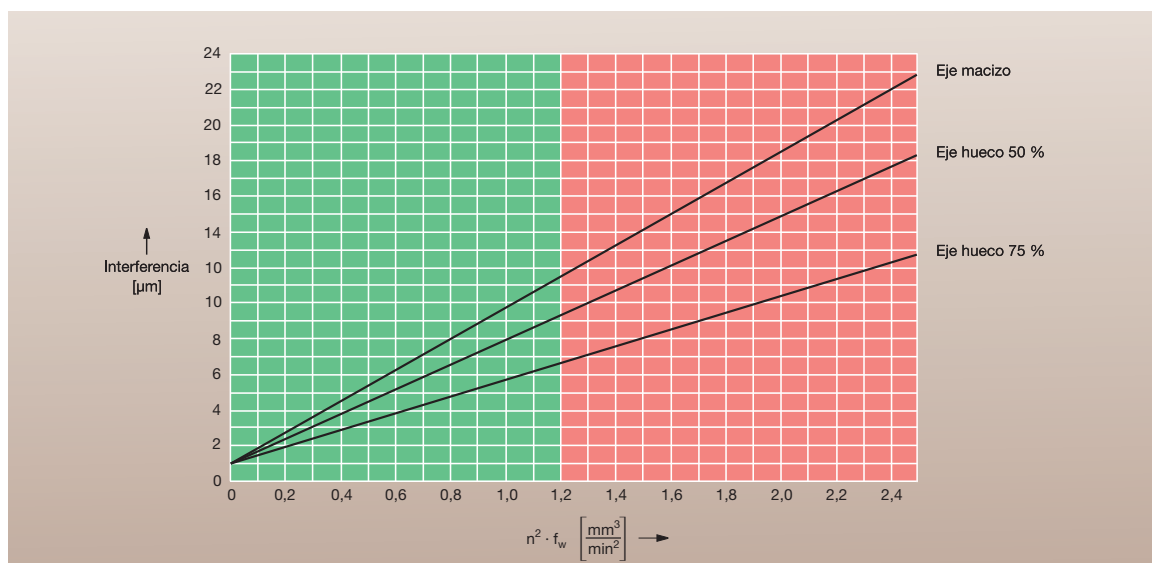
el eje. Las posibles consecuencias de este proceso son:

- Fretting corrosion
- Giro del anillo interior sobre el eje
- Escaso apoyo del eje, con elevada tendencia a las vibraciones
- Reducido rendimiento del rodamiento a causa de posibles desalineaciones.

Estos efectos pueden evitarse por medio del correspondiente ajuste con apriete sobre el eje.

La interferencia necesaria se especifica en el diagrama 11, aunque también puede calcularse con ayuda del programa BEARINX®. Los valores determinados de este modo dan como resultado un ajuste tal que,

a velocidad máxima, todavía se mantiene una interferencia de 1 μm . Las elevadas interferencias conducen, especialmente en el caso de los rodamientos ajustados rígidamente, a un aumento de la precarga. Ésta, por su parte, provoca un fuerte calentamiento en el rodamiento y una disminución en la aptitud para altas velocidades. Este aumento de la precarga debe compensarse adoptando las medidas correspondientes. Para valores $f_w \cdot n^2 > 1,2$ (área roja en el diagrama 11), se recomienda consultar con el departamento de Técnica de Aplicación del Grupo Schaeffler Industrial.



11: Determinación del apriete eje/anillo interior en función de la velocidad

Ingeniería

Velocidad de giro en función de los ajustes

El valor f_w se obtiene en el diagrama de la figura 12 (para los tipos de rodamiento B, HCB y XCB) y figura 13 (para los tipos de rodamiento HS, HC y XC). Si el valor $f_w \cdot n^2 < 1,2$, la dimensión resultante para el eje es como sigue:

Ejemplo:

HCS71914E.T.P4S.UL

Velocidad $n = 16\,000 \text{ min}^{-1}$

Dimensión real del anillo interior:
 $70 \text{ mm} - 3 \mu\text{m} = 69,997 \text{ mm}$.

(La desviación de la medida real está marcada en el anillo interior).

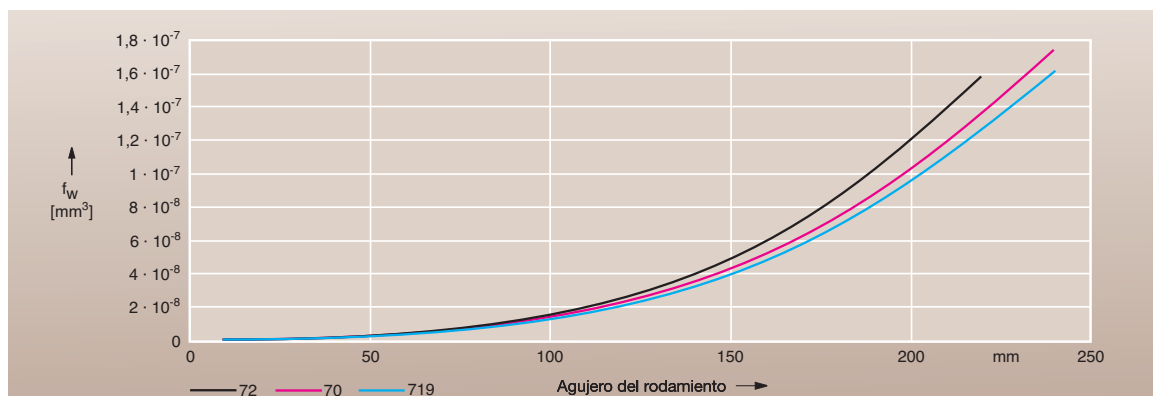
Eje hueco de 35 mm de agujero (50 % del diámetro)

$f_w = 4,30 \cdot 10^{-9}$ (según diagrama 13 para los tipos de rodamiento HS, HC y XC)

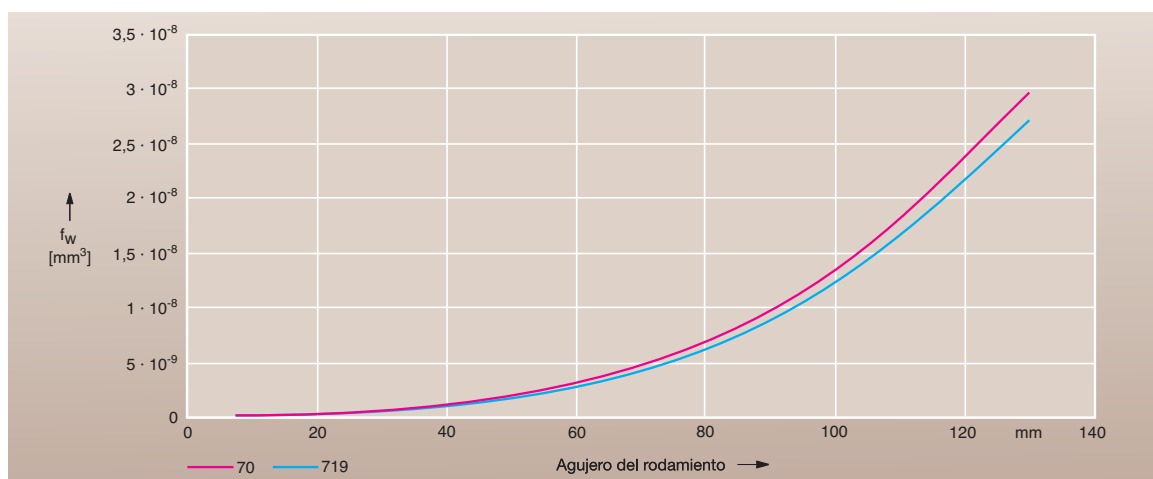
$n^2 \cdot f_w = 1,1$

Con el valor 1,1 y la curva "Eje hueco 50%" (Diagrama 11), resulta una interferencia necesaria de $9 \mu\text{m}$.

La medida real del eje debe ser $70,006 \text{ mm}$ para garantizar que el anillo interior siga asentado firmemente sobre el eje a una velocidad de $n = 16\,000 \text{ min}^{-1}$.



12: Factor f_w para la determinación del ajuste anillo interior/eje en función de la velocidad, para las series de rodamientos B, HCB y XCB



13: Factor f_w para la determinación del ajuste anillo interior/eje en función de la velocidad, para las series de rodamientos HS, HC y XC

Ingeniería

Velocidad de giro

Velocidad de giro

Las velocidades alcanzables en una disposición específica de rodamientos dependen del balance energético total del sistema. El número de rodamientos, su disposición, las tensiones internas (juego o precarga), las cargas exteriores y la lubricación, por un lado, y las condiciones de disipación de calor, por el otro lado, son aquí factores decisivos. Los valores indicados en las tablas de los rodamientos son valores de referencia que pueden ser corregidos en ambos sentidos, en función de las mencionadas condiciones.

Rodamientos para husillos

Las velocidades alcanzables especificadas en las tablas ofrecen valores de referencia de la aptitud para las altas velocidades de rodamientos individuales con precarga elástica. Estas velocidades no se alcanzan en el montaje de rodamientos rígidos precargados, parejas o grupos de rodamientos. Los factores de reducción que pueden ser utilizados se muestran en la tabla 14.

Rodamientos de rodillos cilíndricos

En el caso de los rodamientos de rodillos cilíndricos, la velocidad alcanzable viene determinada por el juego interno radial ajustado. Se dan indicaciones en la tabla 8, capítulo Instrucciones de montaje, página 210.

Disposición de los rodamientos	Factor f_r Precarga del rodamiento		
	L	M	H
Gran distancia entre rodamientos			
	0,85	0,75	0,5
	0,8	0,7	0,5
	0,75	0,65	0,45
Pequeña distancia entre rodamientos			
	0,75	0,6	0,35
	0,65	0,5	0,3
	0,65	0,5	0,3
	0,72	0,57	0,37
	0,54	0,4	0,37

14: Reducción de la velocidad ($n^* \cdot f_r$) para grupos de rodamientos para husillos

Ingeniería

Elasticidad y rigidez

Elasticidad y rigidez

La rigidez de un grupo de rodamientos depende de la disposición de los mismos y de la precarga. La rigidez total de sistema se determina fundamentalmente, aparte de la rigidez de los rodamientos, también por la rigidez del eje y del alojamiento.

Rigidez axial c_a

La rigidez axial se define como el cociente entre la carga axial y la deformación axial.

$$c_a = F_a / \delta_a$$

c_a = Rigidez axial [N/ μ m]






F_a = Carga axial [N]

δ_a = Deformación axial [μ m]

Fuerza de descarga K_{aE}

Si un grupo de rodamientos es cargado con una fuerza axial y centrada, cada rodamiento es cargado, como resultado de la deformación y de su ángulo de contacto, contra la dirección de la fuerza, mientras que el rodamiento montado en oposición queda simultáneamente descargado.

La fuerza de descarga K_{aE} se define como aquella fuerza que descarga los rodamientos al liberar la carga axial actuante de forma centrada en el grupo de rodamientos.

Disposición de los rodamientos	Sufijo	c_a N/ μ m	K_{aE} $\alpha = 15^\circ$ y $\alpha = 25^\circ$ N
	DB	$c_a^{1)}$	$3 \cdot F_V$
	TBT	$1,64 \cdot c_a$	$6 \cdot F_V$
	QBC	$2 \cdot c_a$	$6 \cdot F_V$
	QBT	$2,24 \cdot c_a$	$9 \cdot F_V$
	PBC	$2,64 \cdot c_a$	$9 \cdot F_V$

K_{aE} = Fuerza de descarga F_V = Fuerza de precarga ¹⁾ Tablas de rodamientos

15: Rigidez axial c_a de grupos de rodamientos con una carga axial y centrada

Ingeniería

Elasticidad y rigidez

Rodamientos para husillos

La deformación de un grupo de rodamientos es casi lineal hasta la fuerza de descarga, para la que un rodamiento queda libre de cargas. Los valores de rigidez axial c_a indicados en las tablas de los rodamientos, son válidos para parejas de rodamientos en disposiciones O y X. La rigidez radial c_r puede ser estimada a partir de la rigidez axial mediante un factor.


$$c_r \approx 6 \cdot c_a \text{ para } \alpha = 15^\circ$$

$$c_r \approx 2 \cdot c_a \text{ para } \alpha = 25^\circ$$

Para grupos de más de dos rodamientos se incrementan los valores de la rigidez y de la fuerza de descarga. La tabla 15 muestra los valores aproximados para la rigidez axial y para la fuerza de descarga, con una fuerza axial y centrada. La rigidez radial para aquellos grupos sometidos a una carga radial actuando en el centro del grupo se calcula, aproximadamente, según la tabla 16, a partir de la rigidez radial para una pareja de rodamientos.

Rodamientos axiales de bolas de contacto angular, de doble efecto, de la serie 2344..

Los valores de la rigidez axial c_a especificados en las tablas de los rodamientos son válidos hasta una fuerza axial correspondiente al 2,2% de la capacidad de carga dinámica C.

Disposición de los rodamientos	Sufijo	c_r N/ μ m
	DB	c_r
	TBT	$1,36 \cdot c_r$
	QBC	$2 \cdot c_r$

16: Rigidez radial c_r de grupos de rodamientos. La carga radial actúa en el centro del grupo.

Ingeniería

Monitorización de los rodamientos

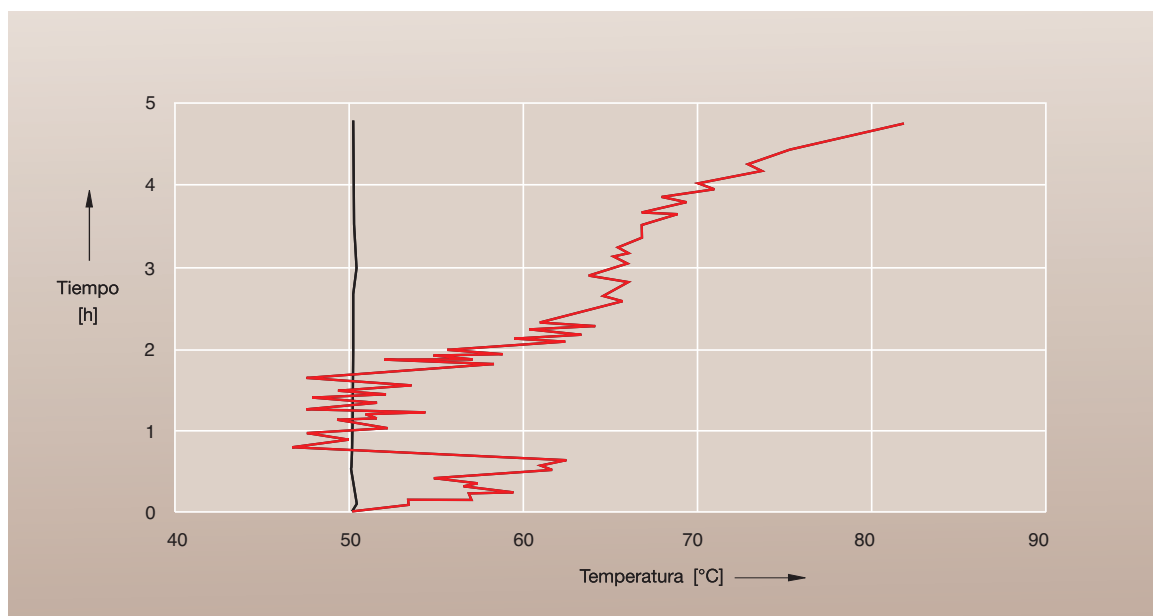
Monitorización de los rodamientos

Como parámetros para la monitorización de un rodamiento se contemplan todos los factores que reaccionan de alguna forma a alteraciones o cambios en el rodamiento o en las condiciones de funcionamiento. Pueden ser fuerzas, pero también vibraciones, temperaturas, la potencia de accionamiento, etc. En la monitorización de rodamientos se debe tener en cuenta que los valores absolutos de un parámetro no tienen, en general, un gran peso informativo. Es mucho más importante monitorizar los cambios que vayan surgiendo. Por ejemplo, un valor absoluto de temperatura de 40°C no es perjudicial para

un rodamiento. En cambio, si la temperatura asciende en poco tiempo de un valor permanente de 35°C hasta 40°C, puede ser una primera señal de un daño incipiente en el rodamiento. Para seleccionar un método de monitorización hay que tener en cuenta que la evolución continua de un daño sólo se puede esperar a largo plazo, a velocidades bajas o medias. En estos casos, tiene sentido realizar una monitorización periódica.

En el área de las altas o muy bajas velocidades de rotación, hay que considerar fallos espontáneos a la hora de analizar los riesgos, de forma que se debería trabajar única y exclusivamente con una monitorización continua para limitar los daños.

La monitorización única se utiliza exclusivamente para garantizar la calidad de los husillos recién fabricados o reparados. En este caso, se utiliza, por ejemplo, la medición del tiempo en funcionamiento hasta su parada, o la medición de las frecuencias propias o naturales. Con este procedimiento se pueden detectar fallos en la precarga de forma rápida y segura. La medición de la temperatura, de la velocidad de vibración y de la aceleración de vibración son procedimientos habituales para el aseguramiento de la calidad. Estas mediciones deben ser utilizadas, así como también la medición del tiempo de funcionamiento hasta su parada, como procedimientos comparativos.



17: Evolución de la temperatura en el rodamiento
negro = normal
rojo = fin de la duración en servicio de la grasa

Ingeniería

Monitorización de los rodamientos

Monitorización de la temperatura

En muchos casos, la temperatura tiene especial importancia en el comportamiento en servicio de los rodamientos. En rodamientos lubricados con grasa, se puede detectar un empeoramiento o un posible fallo, generalmente de forma prematura. Para variaciones en la precarga o disfunciones de rodamientos libres, existen patrones relativamente estables de evoluciones típicas de la temperatura.

Normalmente, se mide la temperatura en el anillo estacionario que, por lo general, suele ser el anillo exterior. El fundamento para la valoración es la variación de temperatura durante el tiempo. Para una medición fiable de la temperatura hay que tener en cuenta las siguientes normas:

- Medir lo más cerca posible del rodamiento
- Medir de forma lo más continua posible
- Evitar la deformación del rodamiento a causa de los sensores.

La evolución normal de la temperatura de un rodamiento es estable. Si la duración en servicio de la grasa está llegando a su fin, la temperatura se ve alterada ya que se incrementa y luego vuelve a bajar. Cuando se perciba una transición a un comportamiento progresivo, debe realizarse una intervención.