

5. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

5.1 Vida del rodamiento

Las distintas funciones requeridas a los rodamientos varían según la aplicación del rodamiento. Estas funciones se deben ejecutar durante un período de tiempo prolongado. Aunque los rodamientos estén montados adecuadamente y funcionen correctamente, finalmente dejarán de funcionar satisfactoriamente debido al aumento de ruido y vibración, a la pérdida de precisión en el funcionamiento, al deterioro de la grasa o a la descamación por fatiga de las superficies rodantes.

La vida del rodamiento, en el sentido amplio de la palabra, es el período durante el cual los rodamientos siguen en funcionamiento y cumplen las funciones para las que están diseñados. Esta vida del rodamiento se puede definir como la vida frente al ruido, la vida frente a la abrasión, la vida de la grasa o la vida frente a la fatiga de los elementos rodantes, dependiendo de cual de ellas provoca la pérdida de servicio del rodamiento.

Además de los fallos debidos al deterioro natural, los rodamientos también pueden fallar en condiciones como deformación por calor, fractura, arañazos en los anillos, daños en los sellados o en la jaula, u otro tipo de daños.

Este tipo de condiciones no deberían interpretarse como fallos normales de los rodamientos, ya que a menudo se producen como resultado de errores en la selección del rodamiento, un diseño o entorno de funcionamiento del rodamiento inadecuados, un montaje incorrecto o un mantenimiento insuficiente.

5.1.1 Índice básico de vida y vida frente a la fatiga de los elementos rodantes

Cuando los rodamientos funcionan bajo carga, las pistas de rodadura de sus anillos interior y exterior y los elementos rodantes están sujetos a un stress cíclico repetido. Debido a la fatiga del metal de las superficies de contacto rodantes de las pistas de rodadura y los elementos rodantes, es posible que se desprendan pequeñas partículas del material del rodamiento (Fig. 5.1). Este fenómeno se conoce como "descamación". La vida frente a la fatiga de los elementos rodantes viene representada por el número total de revoluciones a partir del cual la superficie del rodamiento empezará a descamarse debido al stress. Este fenómeno se conoce como vida frente a la fatiga. Tal como se muestra en la Fig. 5.2, incluso para los rodamientos aparentemente idénticos, del mismo tipo, tamaño y material y reciben el mismo tratamiento térmico u otros procesos, la vida frente a la fatiga de los elementos rodantes varía enormemente, incluso bajo condiciones de funcionamiento idénticas. Esto es debido a que la descamación de los materiales debida a la fatiga está sujeta a muchas otras variables. En consecuencia, "el índice básico de vida", en que se trata la vida frente a la fatiga de los elementos rodantes como un fenómeno estadístico, se utiliza antes que la vida real frente a la fatiga de los elementos rodantes.

Supongamos que un número de rodamientos del mismo tipo funcionan individualmente bajo las mismas condiciones. Después de un cierto período de tiempo, el 10% de ellos fallan como resultado de la descamación producida por la fatiga de los elementos rodantes. En este caso, el número total de revoluciones se define como el índice básico de vida o, si la velocidad es constante, el índice básico de vida a menudo se expresa como el número total de horas de funcionamiento completadas cuando el 10% de los rodamientos pasan a no ser operativos debido a la descamación.

Para determinar la vida del rodamiento, a menudo sólo se tiene en cuenta el factor del índice básico de vida. Sin embargo, también deben tenerse en cuenta otros factores. Por ejemplo, puede considerarse la vida de los rodamientos prelubricados como la vida de la grasa (consulte la Sección 12, Lubricación, Página A107). Dado que la vida frente al ruido y la abrasión se juzgan de acuerdo con los estándares individuales para diferentes aplicaciones, los valores específicos para la vida frente al ruido y la abrasión deben determinarse empíricamente.

5.2 Índice básico de carga y vida de fatiga

5.2.1 Índice básico de carga

El índice básico de carga se define como la carga constante aplicada a los rodamientos con anillos exteriores estáticos que pueden soportar los anillos interiores para un índice de vida de un millón de revoluciones (10^6 rev). El índice básico de carga de los rodamientos radiales se define como una carga radial central de dirección y magnitud constantes, mientras que el índice básico de carga de los rodamientos de apoyo se define como una carga axial de magnitud constante en la misma dirección que el eje central. Los índices de carga se listan como C_r para los rodamientos radiales y C_a para los rodamientos de apoyo en las tablas de dimensiones.

5.2.2 Maquinaria en la que se ensamblan rodamientos y proyección de vida

No es recomendable seleccionar rodamientos con índices de carga innecesariamente altos, ya que pueden resultar demasiado grandes y costosos. Además, la vida del roda-



Fig. 5.1 Ejemplo de descamación

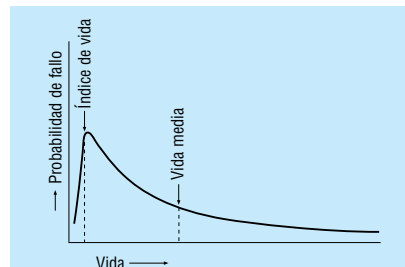


Fig. 5.2 Probabilidad de fallo y vida del rodamiento

Tabla 5. 1 Factor de vida de fatiga f_h para distintas aplicaciones de rodamientos

Períodos de funcionamiento	Factor de vida de fatiga f_h				
	~3	2~4	3~5	4~7	6~
Utilizados con poca frecuencia o durante periodos cortos	<ul style="list-style-type: none"> Motores pequeños para electrodomésticos, como aspiradoras y lavadoras. Herramientas eléctricas manuales 	<ul style="list-style-type: none"> Maquinaria agrícola 			
Utilizados ocasionalmente pero cuya fiabilidad es importante		<ul style="list-style-type: none"> Motores para calefactores domésticos y aires acondicionados Maquinaria para la construcción 	<ul style="list-style-type: none"> Transportadoras Roldanas para cables elevadores 		
Utilizados intermitentemente durante periodos relativamente largos	<ul style="list-style-type: none"> Cuellos de cilindros para laminación 	<ul style="list-style-type: none"> Motores pequeños Grúas de cubierta Grúas de carga en general Soportes de piñón Coches de pasajeros 	<ul style="list-style-type: none"> Motores de fábricas Máquina Herramienta Transmisiones Cribas Trituradoras 	<ul style="list-style-type: none"> Roldanas para grúas Compresores Transmisiones especializadas 	
Utilizados intermitentemente durante más de ocho horas diarias		<ul style="list-style-type: none"> Escaleras mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> Separadores centrifugos Equipos de aire acondicionado Compresores Máquinas para trabajar madera Motores grandes Cajas de ejes para ejes ferroviarios 	<ul style="list-style-type: none"> Elevadores para minas Volantes de prensas Motores de tracción para ferrocarriles Cajas de ejes para locomotoras 	<ul style="list-style-type: none"> Máquinas para fabricación de papel
Utilizados continuamente y cuya alta fiabilidad es importante					<ul style="list-style-type: none"> Bombas de agua Centrales eléctricas Bombas para el drenaje de minas

miento por sí misma no debería ser el factor decisivo a la hora de seleccionar los rodamientos. También deben considerarse la resistencia, la rigidez y el diseño del eje sobre el que se van a montar los rodamientos. Los rodamientos se utilizan en una amplia gama de aplicaciones, y la vida del diseño varía según las aplicaciones específicas y las condiciones de funcionamiento. En la Tabla 5.1 se muestra un factor empírico de vida frente a la fatiga derivado de experiencias habituales en el funcionamiento de varias máquinas. Consulte también la Tabla 5.2.

5.2.3 Selección del tamaño del rodamiento en función del índice básico de carga

Entre la carga de los rodamientos y el índice básico de vida existe la siguiente relación:

$$\text{Para rodamientos de bolas } L = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \dots\dots (5.1)$$

$$\text{Para rodamientos de rodillos } L = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \dots\dots (5.2)$$

donde L : Índice básico de vida (10^6 rev)
 P : Carga del rodamiento (carga equivalente) (N), {kgf} (Consulte la Página A30)
 C : Índice básico de carga (N), {kgf}
 Para los rodamientos radiales, C se escribe Cr
 Para los rodamientos de apoyo, C se escribe Ca

En el caso de los rodamientos que operan a una velocidad constante, es conveniente expresar la vida frente a la fatiga en horas. En general, la vida frente a la fatiga de los roda-

mientos utilizados en automóviles y en otros vehículos se expresa en kilómetros.

Si designamos el índice básico de vida como L_h (h), la velocidad del rodamiento como n (rpm), el factor de vida frente a la fatiga como f_h , y el factor de velocidad como f_n , obtenemos las relaciones mostradas en la Tabla 5.2:

Tabla 5. 2 Índice básico de vida, factor de vida de fatiga y factor de velocidad

Parámetros de vida	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Índice básico de vida	$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^3 = 500 f_h^3$	$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} = 500 f_h^{\frac{10}{3}}$
Factor de vida de fatiga	$f_h = f_n \frac{C}{P}$	$f_h = f_n \frac{C}{P}$
Factor de velocidad	$f_n = \left(\frac{10^6}{500 \times 60n}\right)^{\frac{1}{3}} = (0.03n)^{\frac{1}{3}}$	$f_n = \left(\frac{10^6}{500 \times 60n}\right)^{\frac{3}{10}} = (0.03n)^{\frac{3}{10}}$

n, f_n Fig. 5.3 (consulte la Página A26), Tabla 12 del Apéndice (consulte la Página C24)

L_h, f_h Fig. 5.4 (consulte la Página A26), Tabla 13 del Apéndice (consulte la Página C25)

SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

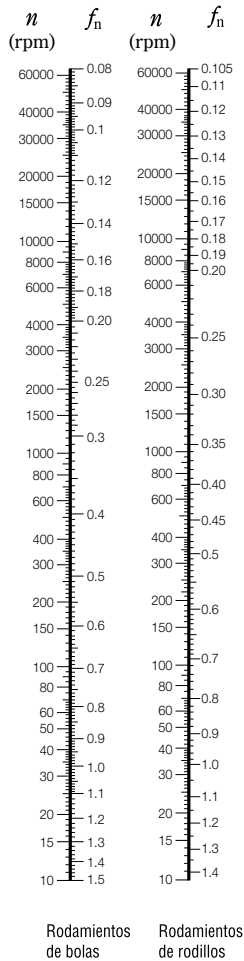


Fig. 5.3 Velocidad del rodamiento y factor de velocidad

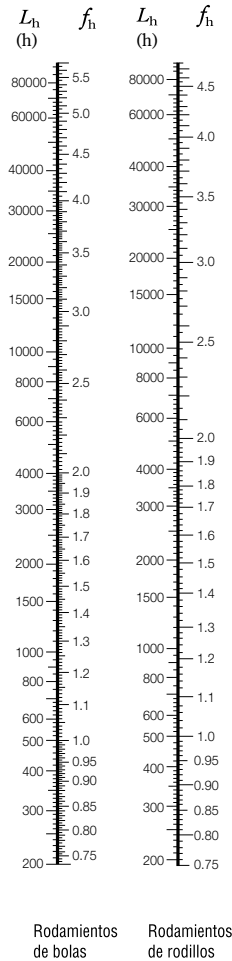


Fig. 5.4 Factor de vida de fatiga y vida de fatiga

Si conoce la carga del rodamiento P y la velocidad n , determine un factor de vida de fatiga f_h adecuado para la proyección de vida de la máquina y a continuación calcule el índice básico de carga C mediante la siguiente ecuación.

$$C = \frac{f_h \cdot P}{f_n} \dots \dots \dots (5.3)$$

A continuación, debería seleccionar un rodamiento que satisfaga este valor de C en las tablas de rodamientos.

5.2.4 Ajuste de temperatura para el índice básico de carga

Si utiliza rodamientos a altas temperaturas, disminuye la dureza del acero del rodamiento. En consecuencia también disminuye el índice básico de carga, ya que depende de las propiedades físicas del material. Por lo tanto, debería ajustar el índice básico de carga para una temperatura superior utilizando la siguiente ecuación:

$$C_t = f_t \cdot C \dots \dots \dots (5.4)$$

donde C_t : Índice básico de carga después de la corrección de temperatura (N), {kgf}

f_t : Factor de temperatura (Consulte la Tabla 5.3.)

C : Índice básico de carga antes del ajuste de temperatura (N), {kgf}

Si se utilizan rodamientos de gran tamaño a una temperatura superior a 120°C, deben someterse a un tratamiento térmico especial de estabilidad dimensional para evitar cambios dimensionales excesivos. El índice básico de carga de los rodamientos sometidos a dicho tratamiento térmico puede ser inferior al índice mostrado en las tablas de rodamientos.

Tabla 5.3 Factor de temperatura f_t

Temperatura del rodamiento °C	125	150	175	200	250
Factor de temperatura f_t	1.00	1.00	0.95	0.90	0.75

5.2.5 Corrección del índice básico de vida

Como ya se ha descrito anteriormente, las ecuaciones básicas para calcular el índice básico de vida son las siguientes:

Para rodamientos de bolas $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \dots\dots\dots(5.5)$

Para rodamientos de bolas $L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{\frac{10}{3}} \dots\dots\dots(5.6)$

La vida L_{10} se define como el índice básico de vida con una fiabilidad estadística del 90%. Dependiendo de las máquinas donde se utilicen los rodamientos, es posible que en ocasiones se requiera una fiabilidad superior al 90%. Sin embargo, las recientes mejoras en el material de los rodamientos han ampliado enormemente la vida de fatiga. Además, el desarrollo de la teoría Elasto-hidrodinámica de lubricación demuestra que el grosor de la película lubricante en la zona de contacto entre los anillos y los elementos rodantes influye enormemente en la vida del rodamiento. Para reflejar dichas mejoras en el cálculo de la vida de fatiga, el índice básico de vida se ajusta de acuerdo con los siguientes factores:

$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10} \dots\dots\dots(5.7)$

donde L_{na} : Índice ajustado de vida, donde se tienen en cuenta la fiabilidad, las mejoras del material, las condiciones de lubricación, etc.

L_{10} : Índice básico de vida con una fiabilidad del 90%

a_1 : Factor de ajuste de la vida para la fiabilidad

a_2 : Factor de ajuste de la vida para propiedades especiales de los rodamientos

a_3 : Factor de ajuste de la vida para condiciones de funcionamiento

El factor de ajuste de la vida para la fiabilidad, a_1 , se muestra en la Tabla 5.4 para las fiabilidades superiores al 90%.

El factor de ajuste de la vida para propiedades especiales de los rodamientos, a_2 , se utiliza para reflejar las mejoras en el acero de los rodamientos.

NSK utiliza actualmente acero para rodamientos desgastado al vacío, y los resultados de las pruebas llevadas a cabo por NSK demuestran que la vida ha mejorado notablemente en comparación con los anteriores materiales. Los índices básicos de carga C_r y C_a mostrados en las tablas de rodamientos se

calcularon considerando la vida ampliada conseguida gracias a las mejoras en los materiales y a las técnicas de fabricación. En consecuencia, al estimar la vida utilizando la Ecuación (5.7) es suficiente asumir que es superior a uno.

El factor de ajuste de la vida para condiciones de funcionamiento a_3 se utiliza para ajustar varios factores, especialmente la lubricación. Si no existe desalineación entre los anillos interiores y exteriores, y el grosor de la película lubricante en las zonas de contacto del rodamiento es la suficiente, es posible que a_3 sea mayor que uno; sin embargo, a_3 es menor que uno en los siguientes casos:

- Cuando la viscosidad del lubricante en las zonas de contacto entre las pistas de rodadura y los elementos rodantes es baja.
- Cuando la velocidad circunferencial de los elementos rodantes es muy baja.
- Cuando la temperatura del rodamiento es alta.
- Cuando el lubricante está contaminado por agua o materias extrañas.
- Cuando la desalineación de los anillos internos y externos es excesiva.

Es difícil determinar el valor correcto de a_1 para condiciones específicas de funcionamiento, porque existen muchos factores desconocidos. Dado que las condiciones de funcionamiento también influyen en el factor de propiedades especiales del rodamiento a_2 , existe la proposición de combinar a_2 y a_3 en una sola cantidad ($a_2 \times a_3$) en vez de considerarlos independientemente. En este caso, en condiciones normales de lubricación y funcionamiento, debería asumirse que el producto ($a_2 \times a_3$) es igual a uno. Sin embargo, si la viscosidad del lubricante es demasiado baja, el valor disminuye hasta 0,2.

Si no existe desalineación y se utiliza un lubricante de alta viscosidad para garantizar un grosor suficiente de la película, el producto de ($a_2 \times a_3$) puede estar cercano a dos.

Si selecciona un rodamiento basado en el índice básico de carga, es mejor seleccionar un factor de fiabilidad a_1 adecuado para el uso previsto y un valor C/P o f_n determinado empíricamente y derivado de resultados anteriores en cuanto a lubricación, temperatura, condiciones de montaje, etc. en máquinas similares.

Las ecuaciones del índice básico de vida (5.1), (5.2), (5.5) y (5.6) ofrecen resultados satisfactorios para una amplia gama de cargas de rodamientos. Sin embargo, las cargas demasiado elevadas pueden causar deformaciones del plástico en los puntos de contacto entre las bolas y los caminos de rodadura. Si P_r es superior a C_{0r} (índice de carga estática básica) o a $0,5 C_r$ (el menor de los dos) para rodamientos radiales, o si P_a es superior a $0,5 C_a$ para rodamientos de apoyo, consulte con NSK para establecer la aplicabilidad de las ecuaciones del índice de vida frente a la fatiga.

Tabla 5.4 Factor de fiabilidad a_1

Fiabilidad (%)	90	95	96	97	98	99
a_1	1.00	0.62	0.53	0.44	0.33	0.21

SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

5.3 Cálculo de las cargas del rodamiento

Las cargas aplicadas sobre los rodamientos generalmente incluyen el peso de la estructura que éstos deben soportar, el peso de los elementos giratorios en sí, la potencia de transmisión de los engranajes y las correas, la carga ocasionada por el funcionamiento de la máquina donde se utilizan los rodamientos, etc. Estas cargas pueden calcularse teóricamente, pero algunas de ellas resultan difíciles de estimar. Así pues, se hace necesario corregir las estimaciones utilizando datos obtenidos empíricamente.

5.3.1 Factor de carga

Cuando se ha calculado matemáticamente una carga radial o axial, la carga real sobre el rodamiento puede ser superior a la carga calculada debido a la vibración y a los impactos producidos durante el funcionamiento de la máquina. La carga real puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$\left. \begin{aligned} F_r &= f_w \cdot F_{rc} \\ F_a &= f_w \cdot F_{ac} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.8)$$

donde F_r, F_a : Cargas aplicadas sobre el rodamiento (N), {kgf}
 F_{rc}, F_{ac} : Carga calculada teóricamente (N), {kgf}
 f_w : Factor de carga

Los valores mostrados en la Tabla 5.5 se utilizan normalmente para el factor de carga f_w .

Tabla 5.5 Valores del factor de carga f_w

Condiciones de funcionamiento	Aplicaciones típicas	f_w
Funcionamiento suave libre de impactos	Motores eléctricos, máquinas herramienta, acondicionadores de aire	1.0-1.2
Funcionamiento normal	Ventiladores, compresores, ascensores, grúas, máquinas para fabricación de papel	1.2-1.5
Funcionamiento acompañado de impactos y vibraciones	Maquinaria para la construcción, trituradoras, cribas, Trenes de laminación	1.5-3

5.3.2 Cargas del rodamiento en aplicaciones de transmisión por correas o cadenas

La fuerza actúa sobre la polea o la rueda dentada o bien cuando la potencia se transmite por medio de una correa o cadena se calcula utilizando las siguientes ecuaciones.

$$\left. \begin{aligned} M &= 9\,550\,000H / n \dots (N \cdot mm) \\ &= 974\,000H / n \dots (kgf \cdot mm) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.9)$$

$$P_k = M/r \dots\dots\dots (5.10)$$

- donde M : Par sobre la polea o la rueda dentada (kgf·mm), {kgf·mm}
 P_k : Fuerza efectiva transmitida por la correa o la cadena (N), {kgf}
 H : Potencia transmitida (kW)
 n : Velocidad (rpm)
 r : Radio efectivo de la polea o de la rueda dentada (mm)

Cuando calcule la carga sobre un eje de la polea, debe incluir la tensión de la correa. Así, para calcular la carga real K_b en el caso de una transmisión por correa, la potencia de transmisión efectiva se multiplica por el factor de la correa f_b , que representa la tensión de la correa. Los valores del factor de la correa f_b para tipos diferentes de correas se muestran en la Tabla 5.6.

$$K_b = f_b \cdot P_k \dots\dots\dots (5.11)$$

En caso de una transmisión por cadena, los valores correspondientes a f_b deberían ser de 1,25 a 1,5.

Tabla 5.6 Factor de la correa f_b

Tipo de correa	f_b
Correas dentadas	1.3 ~ 2.0
Correas en V	2.0 ~ 2.5
Correas planas con polea de tensión	2.5 ~ 3.0
Correas planas	4.0 ~ 5.0

5.3.3 Cargas del rodamiento en aplicaciones de transmisión por engranajes

Las cargas impuestas sobre los engranajes en este tipo de transmisiones dependen del tipo de engranajes utilizados. En el caso más sencillo de engranajes rectos, la carga se calcula de la manera siguiente:

$$\left. \begin{aligned} M &= 9\,550\,000H / n \dots (N \cdot mm) \\ &= 974\,000H / n \dots (kgf \cdot mm) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5.12)$$

$$P_k = M/r \dots \dots \dots (5.13)$$

$$S_k = P_k \tan \theta \dots \dots \dots (5.14)$$

$$K_c = \sqrt{P_k^2 + S_k^2} = P_k \sec \theta \dots \dots \dots (5.15)$$

- donde M : Par aplicado al engranaje (N-mm),(kgf-mm)
- P_k : Fuerza tangencial sobre el engranaje (N), {kgf}
- S_k : Fuerza radial sobre el engranaje (N), {kgf}
- K_c : Fuerza combinada impuesta sobre el engranaje (N), {kgf}
- H : Potencia transmitida (kW)
- n : Velocidad (rpm)
- r : Radio del círculo de paso del engranaje de transmisión (mm)
- θ : Ángulo de presión

Además de la carga teórica calculada anteriormente, deberían incluirse las vibraciones y los impactos (que dependen de la precisión de acabado del engranaje) utilizando el factor del engranaje f_g multiplicando la carga calculada teóricamente por este factor.

Los valores de f_g deberían ser generalmente los de la Tabla 5.7. Cuando el funcionamiento del engranaje venga acompañado de vibraciones de otras fuentes, la carga real se obtiene multiplicando el factor de carga por este factor del engranaje.

Tabla 5.7 Valores del factor del engranaje f_g

Precisión de acabado del engranaje	f_g
Engranajes rectificadas de precisión	1.0~1.1
Engranajes mecanizados ordinarios	1.1~1.3

5.3.4 Distribución de la carga en los rodamientos

En los ejemplos sencillos mostrados en las Figs. 5.5 y 5.6, las cargas radiales sobre los rodamientos 1 y 2 pueden calcularse utilizando las siguientes ecuaciones:

$$F_{CI} = \frac{b}{c} K \dots \dots \dots (5.16)$$

$$F_{CII} = \frac{a}{c} K \dots \dots \dots (5.17)$$

- donde F_{CI} : Carga radial aplicada sobre el rodamiento 1 (N), {kgf}
- F_{CII} : Carga radial aplicada sobre el rodamiento 2 (N), {kgf}
- K : Carga del eje (N), {kgf}

Cuando estas cargas se aplican simultáneamente, primero debe obtenerse la carga radial de cada una, y luego puede calcularse la suma de los vectores de acuerdo con la dirección de carga.

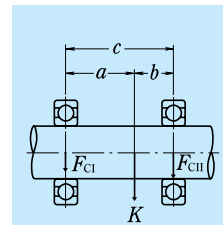


Fig. 5.5 Distribución de la carga radial (1)

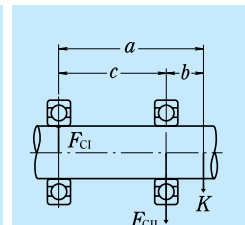


Fig. 5.6 Distribución de la carga radial (2)

5.3.5 Media de carga fluctuante

Cuando la carga aplicada sobre los rodamientos fluctúa, se debe calcular una carga media que ofrezca la misma vida del rodamiento que la carga fluctuante.

(1) Cuando la relación entre la carga y la velocidad de rotación se divide en los siguientes pasos (Fig. 5.7)

- Carga F_1 : Velocidad n_1 ; Tiempo de funcionamiento t_1
- Carga F_2 : Velocidad n_2 ; Tiempo de funcionamiento t_2
- ...
- Carga F_n : Velocidad n_n ; Tiempo de funcionamiento t_n

Entonces, la carga media F_m puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$F_m = \sqrt[p]{\frac{F_1^p n_1 t_1 + F_2^p n_2 t_2 + \dots + F_n^p n_n t_n}{n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_n t_n}} \dots \dots \dots (5.18)$$

- donde F_m : Carga fluctuante media (N), {kgf}
- $p = 3$ para rodamientos de bolas
- $p = 10/3$ para rodamientos de rodillos

SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

La velocidad media puede calcularse de la siguiente manera:

$$n_m = \frac{n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_n t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (5.19)$$

(2) Cuando la carga fluctúa casi linealmente (Fig. 5.8), la carga media puede calcularse de la siguiente manera:

$$F_m = \frac{1}{3}(F_{\min} + 2F_{\max}) \quad (5.20)$$

donde F_{\min} : Valor mínimo de la carga fluctuante (N), {kgf}

F_{\max} : Valor máximo de la carga fluctuante (N), {kgf}

(3) Cuando la fluctuación de la carga es similar a una onda sinusoidal (Fig. 5.9), puede calcularse un valor aproximado para la carga media F_m a partir de la siguiente ecuación:

En el caso de la Fig. 5.9 (a)

$$F_m = 0.65 F_{\max} \quad (5.21)$$

En el caso de la Fig. 5.9 (b)

$$F_m = 0.75 F_{\max} \quad (5.22)$$

(4) Cuando se aplican tanto una carga giratoria como una carga estacionaria (Fig. 5.10).

F_R : Carga giratoria (N), {kgf}

F_S : Carga estacionaria (N), {kgf}

Puede calcularse un valor aproximado para la carga media F_m de la siguiente manera:

a) Donde $F_R \geq F_S$

$$F_m = F_R + 0.3F_S + 0.2 \frac{F_S^2}{F_R} \quad (5.23)$$

b) Donde $F_R < F_S$

$$F_m = F_S + 0.3F_R + 0.2 \frac{F_R^2}{F_S} \quad (5.24)$$

5.4 Carga equivalente

En algunos casos, las cargas que se aplican sobre los rodamientos son puramente radiales o axiales; sin embargo, en la mayoría de los casos, las cargas son una combinación de ambos tipos. Además, estas cargas normalmente fluctúan tanto en magnitud como en dirección. En estos casos, las cargas aplicadas realmente a los rodamientos no pueden utilizarse para los cálculos de la vida de los rodamientos; por lo tanto, se debería estimar una carga hipotética con una magnitud constante y que pase por el centro del rodamiento, y que ofrezca la misma vida de rodamiento que debería tener el rodamiento bajo las condiciones de carga y rotación reales. Este tipo de carga hipotética se llama carga equivalente.

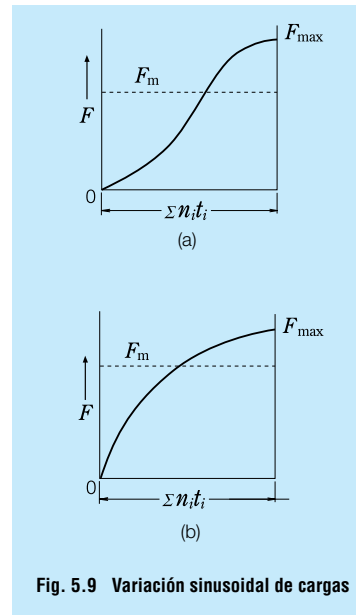


Fig. 5.9 Variación sinusoidal de cargas

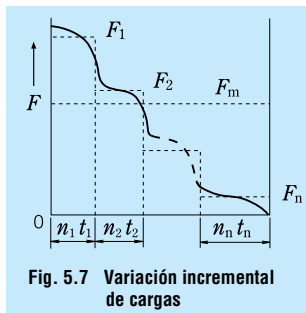


Fig. 5.7 Variación incremental de cargas

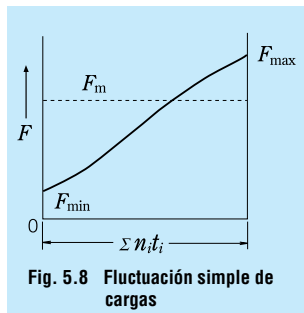


Fig. 5.8 Fluctuación simple de cargas

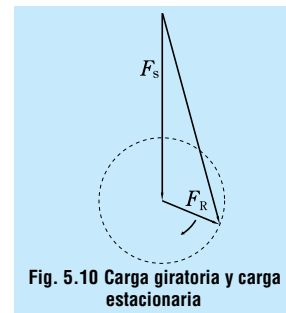


Fig. 5.10 Carga giratoria y carga estacionaria

5.4.1 Cálculo de las cargas equivalentes

La carga equivalente sobre los rodamientos radiales puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$P = XF_r + YF_a \dots\dots\dots (5.25)$$

- donde P : Carga equivalente (N), {kgf}
- F_r : Carga radial (N), {kgf}
- F_a : Carga axial (N), {kgf}
- X : Factor de carga radial
- Y : Factor de carga axial

Los valores de X e Y se muestran en las tablas de rodamientos. La carga radial equivalente para rodamientos de rodillos radiales con $\alpha = 0^\circ$ es

$$P = F_r$$

En general, los rodamientos de bolas de apoyo no pueden soportar cargas radiales, mientras que los rodamientos de rodillos de apoyo esféricos pueden soportar parte de dichas cargas. En este caso, la carga equivalente puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$P = F_a + 1.2F_r \dots\dots\dots (5.26)$$

donde $\frac{F_r}{F_a} \leq 0.55$

5.4.2 Componentes de la carga axial en rodamientos de bolas de contacto angular y en rodamientos de rodillos cónicos

El centro de carga efectivo de los rodamientos de bolas de contacto angular y de los rodamientos de rodillos cónicos se encuentra en el punto de intersección de la línea del centro del eje y la línea que representa la carga aplicada por el anillo exterior sobre el elemento de rodadura, tal como se muestra en la Fig. 5.11. En las tablas de rodamientos se muestra este centro de carga efectivo para cada rodamiento.

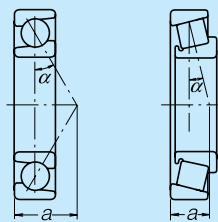


Fig. 5.11 Centros de carga efectiva

Cuando se aplican cargas radiales a estos tipos de rodamientos, se produce una componente de carga en la dirección axial. Para compensar esta carga de la componente, se utilizan rodamientos del mismo tipo en parejas, colocados cara a cara o espalda contra espalda. Estas cargas axiales pueden calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$F_{ai} = \frac{0.6}{Y} F_r \dots\dots\dots (5.27)$$

- donde F_{ai} : Carga del componente en la dirección axial (N), {kgf}
- F_r : Carga radial (N), {kgf}
- Y : Factor de carga axial

Se considera que las cargas radiales F_{rI} y F_{rII} se aplican sobre los rodamientos I y II (Fig. 5.12) respectivamente, y la carga axial externa F_{ae} se aplica según el esquema. Si los factores de carga axial son Y_I , Y_{II} y el factor de carga radial es X , entonces las cargas equivalentes P_I , P_{II} pueden calcularse de la manera siguiente:

donde $F_{ae} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII} \geq \frac{0.6}{Y_I} F_{rI}$

$$\left. \begin{aligned} P_I &= XF_{rI} + Y_I \left(F_{ae} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII} \right) \\ P_{II} &= F_{rII} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.28)$$

donde $F_{ae} + \frac{0.6}{Y_I} F_{rI} \geq \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII}$

$$\left. \begin{aligned} P_I &= F_{rI} \\ P_{II} &= XF_{rII} + Y_{II} \left(\frac{0.6}{Y_I} F_{rI} - F_{ae} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5.29)$$

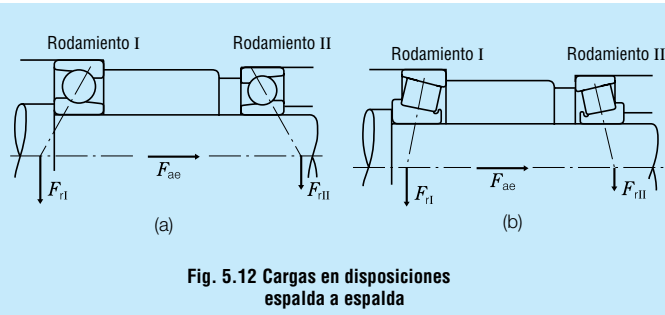


Fig. 5.12 Cargas en disposiciones espalda a espalda

SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

5.5 Índices de carga estática y cargas estáticas equivalentes

5.5.1 Índices de carga estática

Cuando están sometidos a una carga excesiva o a una carga de impacto intensa, los rodamientos rodantes pueden sufrir una deformación permanente de los elementos rodantes, y si se sobrepasa el límite elástico la superficie de la pista de rodadura también puede sufrir dicha deformación. La deformación no elástica aumenta en zona y en profundidad a medida que aumenta la carga, y cuando ésta sobrepasa un cierto límite se dificulta el funcionamiento suave del rodamiento.

El índice de carga estática básica se define como la carga estática que produce la siguiente tensión de contacto calculada en el centro de la zona de contacto entre el elemento rodante sujeto a la máxima tensión y la superficie de la pista de rodadura.

Para rodamientos de bolas autoalineantes	4 600MPa {469 kgf/mm ² }
Para otros rodamientos de bolas	4 200MPa {428 kgf/mm ² }
Para los rodamientos de rodillos	4 000MPa {408 kgf/mm ² }

En esta zona de contacto de tensión más elevada, la suma de la deformación permanente del elemento rodante y la de la pista de rodadura es aproximadamente 0,0001 veces el diámetro del elemento rodante. El índice de carga estática básica C_o se escribe C_{or} para los rodamientos radiales y C_{oa} para los rodamientos de apoyo en las tablas de rodamientos.

Además, después de la modificación realizada por la ISO de los criterios para el índice de carga estática básica, los nuevos valores de C_o para los rodamientos de bolas de NSK pasan a ser entre 0,8 y 1,3 veces los valores anteriores, y entre 1,5 y 1,9 veces para los rodamientos de rodillos. En consecuencia, los valores del factor de carga estática permisible f_s también han cambiado, de modo que deberá tenerlo en cuenta.

5.5.2 Cargas estáticas equivalentes

La carga estática equivalente es una carga hipotética que produce una tensión de contacto igual a la tensión máxima descrita anteriormente en condiciones reales, mientras el rodamiento está estacionario (incluyendo una rotación u oscilación muy lentas), en la zona de contacto entre el elemento rodante que soporta más tensión y la pista de rodadura del rodamiento. La carga radial estática que pasa a través del centro del rodamiento se toma como carga estática equivalente para los rodamientos radiales, mientras que la carga estática axial en la dirección que coincide con el eje central se toma como carga estática equivalente para los rodamientos de apoyo.

(a) Carga estática equivalente en los rodamientos radiales

El mayor de los dos valores calculados mediante las siguientes ecuaciones se debe adoptar como la carga estática equivalente para los rodamientos radiales.

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a \dots\dots\dots (5.30)$$

$$P_o = F_r \dots\dots\dots (5.31)$$

donde P_o : Carga equivalente estática (N), {kgf}
 F_r : Carga radial (N), {kgf}
 F_a : Carga axial (N), {kgf}
 X_o : Factor de carga radial estática
 Y_o : Factor de carga axial estática

(b) Carga estática equivalente en los rodamientos de apoyo

$$P_o = X_o F_r + F_a \quad \alpha \neq 90^\circ \dots\dots\dots (5.32)$$

donde P_o : Carga equivalente estática (N), {kgf}

α : Ángulo de contacto

Cuando $F_o < X_o F_r$, esta ecuación resulta menos precisa.

Los valores de X_o e Y_o para las ecuaciones (5.30) y (5.32) se muestran en las tablas de rodamientos.

La carga estática equivalente para los rodamientos de rodillos de apoyo es

$$\alpha = 90^\circ \text{ es } P_o = F_a$$

5.5.3 Factor de carga estática permisible

La carga equivalente estática permisible en los rodamientos varía dependiendo del índice de carga estática básica, así como su aplicación y condiciones de funcionamiento.

El factor de carga estática permisible f_s es un factor de seguridad que se aplica al índice de carga estática básica, y está definido por la relación de la Ecuación (5.33). Los valores recomendados en general para f_s se muestran en la Tabla 5.8. De acuerdo con las modificaciones del índice de carga estática, se revisaron los valores de f_s , especialmente para los rodamientos cuyos valores de C_o aumentaron; por favor, recuerde este aspecto al seleccionar los rodamientos.

$$f_s = \frac{C_o}{P_o} \dots\dots\dots (5.33)$$

donde C_o : Índice de carga estática básica (N), {kgf}

P_o : Carga equivalente estática (N), {kgf}

Para rodamientos de rodillos de empuje esféricos, los valores de f_s deberían ser superiores a 4.

Tabla 5.8 Valores del factor f_s de carga estática permisible

Condiciones de funcionamiento	Valor mínimo de f_s	
	Rodamientos de bolas	Rodamientos de rodillos
Aplicaciones con bajo nivel de ruido	2.0	3.0
Rodamientos sujetos a vibraciones y cargas de impacto	1.5	2.0
Condiciones de funcionamiento normales	1.0	1.5

5.6 Cargas axiales máximas permisibles para rodamientos de rodillos cilíndricos

Los rodamientos de rodillos cilíndricos cuyos anillos interno y externo presentan anillos guía (suelos o no) o collares de empuje son capaces de soportar cargas radiales y cargas axiales limitadas simultáneamente. La carga axial máxima permisible está limitada por un incremento anormal de la temperatura o deformación por calor debida a la fricción por deslizamiento entre las caras laterales de los rodillos y la cara del reborde.

La carga axial máxima permisible para los rodamientos de la serie dimensional 3, cargados continuamente y lubricados con grasa o aceite, se muestra en la Fig. 5.13.

Lubricación con grasa (ecuación empírica)

$$C_A = 9.8f \left\{ \frac{900(k \cdot d)^2}{n+1500} - 0.023 \times (k \cdot d)^{2.5} \right\} \dots (N) \quad \dots (5.34)$$

$$= f \left\{ \frac{900(k \cdot d)^2}{n+1500} - 0.023 \times (k \cdot d)^{2.5} \right\} \dots \{ \text{kgf} \}$$

Lubricación con aceite (ecuación empírica)

$$C_A = 9.8f \left\{ \frac{490(k \cdot d)^2}{n+1000} - 0.000135 \times (k \cdot d)^{3.4} \right\} \dots (N) \quad \dots (5.35)$$

$$= f \left\{ \frac{490(k \cdot d)^2}{n+1000} - 0.000135 \times (k \cdot d)^{3.4} \right\} \dots \{ \text{kgf} \}$$

donde C_A : Carga axial permisible (N), {kgf}
 d : Diámetro interno del rodamiento (mm)
 n : Velocidad (rpm)

f : Factor de carga

Intervalo de carga	Valor de f
Continuo	1
Intermitente	2
Sólo periodos cortos	3

k : Factor de tamaño

Serie dimensional	Valor de k
2	0.75
3	1
4	1.2

Además, para que los rodamientos de rodillos cilíndricos tengan una capacidad de carga axial constante, deben tomarse las siguientes precauciones con los rodamientos y su entorno:

- Cuando se aplican cargas axiales, también deben aplicarse cargas radiales.
- Debe aplicarse suficiente lubricante entre las caras laterales de los rodillos y los rebordes.
- Debe utilizarse grasa de calidad superior para presiones extremas.
- Debe llevarse a cabo un rodaje suficiente.
- La precisión del montaje debe ser buena.

• El juego radial no debe ser mayor de lo necesario.
 En aquellos casos en los que la velocidad del rodamiento es extremadamente lenta, o si la velocidad supera el límite en más del 50%, o si el diámetro del núcleo es superior a los 200 mm, debe estudiarse detenidamente cada caso en lo referente a lubricación, refrigeración, etc. En dichos casos, consulte a NSK.

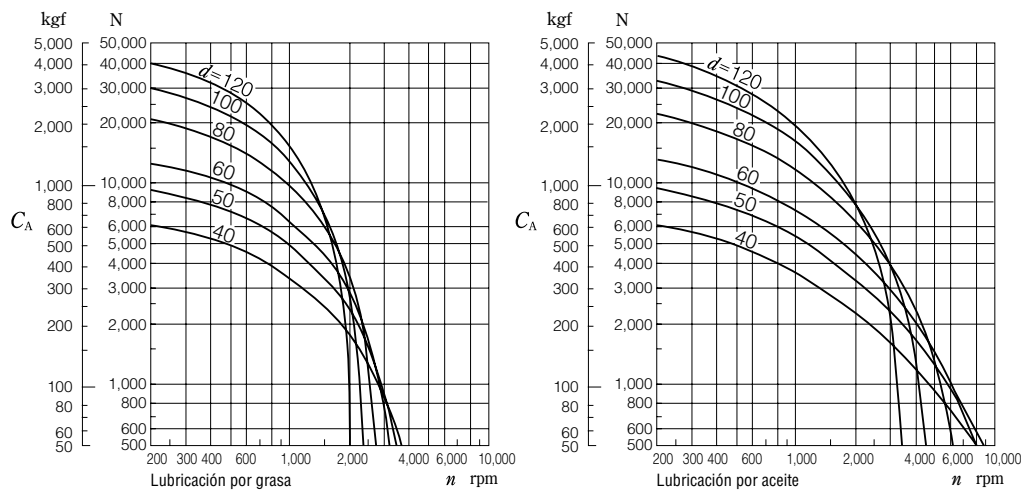


Fig. 5.13 Carga axial permisible para rodamientos de rodillos cilíndricos
 Para rodamientos de la serie de diámetro 3 ($k=1.0$) que operan bajo una carga continua y lubricados con grasa o aceite.

SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

5.7 Ejemplos de cálculos de rodamientos

(Ejemplo 1)

Obtenga el factor de vida de fatiga f_h de un rodamiento rígido de bolas de una hilera de ranura profunda **6208** cuando se utiliza bajo una carga radial $F_r=2\,500\text{ N}$, $\{255\text{ kgf}\}$ y velocidad $n=900\text{ rpm}$.

El índice básico de carga C_r de **6208** es de $29\,100\text{ N}$, $\{2\,970\text{ kgf}\}$ (Tabla de rodamientos, página B10). Sólo se aplica una carga radial, por lo que la carga P equivalente puede obtenerse de la manera siguiente:

$$P = F_r = 2\,500\text{ N}, \{255\text{ kgf}\}$$

La velocidad es $n = 900\text{ rpm}$, por lo que el factor de velocidad f_n puede obtenerse a partir de la ecuación de la Tabla 5.2 (Página A25) o de la Fig. 5.3 (Página A26).

$$f_n = 0.333$$

El factor de vida de fatiga f_h , en estas condiciones, puede calcularse de la manera siguiente:

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0.333 \times \frac{29\,100}{2\,500} = 3.88$$

Este valor es adecuado para aplicaciones industriales, acondicionadores de aire que se utilizan regularmente, y según la ecuación de la Tabla 5.2 o de la Fig. 5.4 (Página A26), corresponde aproximadamente a $29\,000$ horas de vida de servicio.

(Ejemplo 2)

Seleccione un rodamiento rígido de bolas de una hilera de ranura profunda con un diámetro interior de 50 mm y un diámetro exterior inferior a 100 mm que cumpla con las siguientes condiciones:

Carga radial $F_r = 3\,000\text{ N}$, $\{306\text{ kgf}\}$

Velocidad $n=1\,900\text{ rpm}$

Índice básico de vida $L_h \geq 10\,000\text{ h}$

El factor de vida de fatiga f_h de los rodamientos de bolas con un índice de vida de fatiga superior a las $10\,000$ horas es $f_h \geq 2.72$

Porque $f_n = 0.26$, $P = F_r = 3\,000\text{ N}$. $\{306\text{ kgf}\}$

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0.26 \times \frac{C_r}{3\,000} \geq 2.72$$

por lo tanto, $C_r \geq 2.72 \times \frac{3\,000}{0.26} = 31\,380\text{ N}$, $\{3\,200\text{ kgf}\}$

Entre los datos mostrados en la tabla de rodamientos de la Página B12, debería seleccionar **6210** como uno que cumple las anteriores condiciones.

(Ejemplo 3)

Obtener C_r/P o el factor de vida de fatiga f_h cuando se añade una carga axial $F_a=1\,000\text{ N}$, $\{102\text{ kgf}\}$ a las condiciones del (Ejemplo 1)

Si se aplican la carga radial F_r y la carga axial F_a sobre un rodamiento rígido de bolas de una hilera de ranura profunda **6208**, la carga dinámica equivalente P deberá calcularse de acuerdo con el siguiente procedimiento.

Obtenga el factor de carga radial X , el factor de carga axial Y y la constante e , que depende de la magnitud de $f_o F_a/C_{or}$, en la tabla situada encima de la tabla de rodamientos rígidos de bolas de una hilera de ranura profunda.

El índice de carga estática básica C_{or} del rodamiento de bolas **6208** es de

$17\,900\text{ N}$, $\{1\,820\text{ kgf}\}$ (Página B10)

$$f_o F_a / C_{or} = 14.0 \times 1\,000 / 17\,900 = 0.782$$

$$e = 0.26$$

$$y F_a / F_r = 1\,000 / 2\,500 = 0.4 > e$$

$$X = 0.56$$

$$Y = 1.67 \text{ (el valor de } Y \text{ se obtiene por interpolación lineal)}$$

Por lo tanto, la carga dinámica equivalente P es

$$\begin{aligned} P &= XF_r + YF_a \\ &= 0.56 \times 2\,500 + 1.67 \times 1\,000 \\ &= 3\,070\text{ N}, \{313\text{ kgf}\} \end{aligned}$$

$$\frac{C_r}{P} = \frac{29\,100}{3\,070} = 9.48$$

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = 0.333 \times \frac{29\,100}{3\,070} = 3.16$$

Este valor de f_h corresponde aproximadamente a $15\,800$ horas para rodamientos de bolas.

(Ejemplo 4)

Seleccione un rodamiento de rodillos esféricos de la serie 231 que cumpla con las siguientes condiciones:

Carga radial $F_r = 45\,000\text{ N}$, $\{4\,950\text{ kgf}\}$

Carga axial $F_a = 8\,000\text{ N}$, $\{816\text{ kgf}\}$

Velocidad $n=500\text{ rpm}$

Índice básico de vida $L_h \geq 30\,000\text{ h}$

El valor del factor de vida de fatiga f_h que hace $L_h \geq 30\,000\text{ h}$ es mayor que 3.45 en la Fig. 5.4 (Página A26).

La carga dinámica equivalente P de los rodamientos de rodillos esféricos se obtiene así:

cuando $F_a/F_r \leq e$

$$P = X F_r + Y X_a = F_r + Y_3 F_a$$

cuando $F_a/F_r > e$

$$P = X F_r + Y F_a = 0.67 F_r + Y_2 F_a$$

$$F_a/F_r = 8\,000/45\,000 = 0.18$$

Podemos ver en la tabla de rodamientos que el valor de e es aproximadamente de 0.3 y que el de Y₃ es aproximadamente de 2.2 para los rodamientos de la serie 231:

Por lo tanto, $P = X F_r + Y F_a = F_r + Y_3 F_a$

$$= 45\,000 + 2.2 \times 8\,000$$

$$= 62\,600\text{N}, \{6\,380\text{kgf}\}$$

Partiendo del factor de vida de fatiga f_n, el índice de carga básico puede obtenerse de la siguiente manera:

$$f_n = f_n \frac{C_r}{P} = 0.444 \times \frac{C_r}{62\,600} \geq 3.45$$

en consecuencia, $C_r \geq 490\,000\text{N}, \{50\,000\text{kgf}\}$

Entre los rodamientos de rodillos esféricos de la serie 231 que satisfacen este valor de C_r, el menor es **23126C**

(C_r = 505 000N, {51 500kgf})

Una vez determinado el rodamiento, sustituya el valor de Y₃ en la ecuación y obtenga el valor de P.

$$P = F_r + Y_3 F_a = 45\,000 + 2.2 \times 8\,000$$

$$= 64\,200\text{N}, \{6\,550\text{kgf}\}$$

$$L_n = 500 \left(f_n \frac{C_r}{P} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$= 500 \left(0.444 \times \frac{505\,000}{64\,200} \right)^{\frac{10}{3}}$$

$$= 500 \times 3.49^{\frac{10}{3}} \approx 32\,000\text{h}$$

(Ejemplo 5)

Asuma que los rodamientos de rodillos cónicos HR30305DJ y HR30206J se utilizan en una disposición espalda contra espalda como se muestra en la Fig. 5.14, y que la distancia entre las caras posteriores de la copa es de 50 mm.

Calcule el índice básico de vida de cada rodamiento cuando se aplique la carga radial F_r = 5 500N, {561kgf}, y la carga axial F_{ae} = 2 000N, {204kgf} al **HR30305DJ** tal como se muestra en la Fig. 5.14.

La velocidad es de 600 rpm.

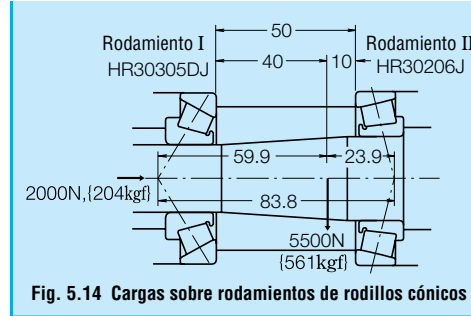


Fig. 5.14 Cargas sobre rodamientos de rodillos cónicos

Para distribuir la carga radial F_r entre los rodamientos I y II, los centros efectivos de carga deben estar localizados para los rodamientos de rodillos cónicos. Obtenga el centro efectivo de carga a para los rodamientos I y II desde la tabla de rodamientos, y luego obtenga la posición relativa de la carga radial F_r y los centros efectivos de carga. El resultado será el mostrado en la Fig. 5.14. En consecuencia, la carga radial aplicada sobre los rodamientos I (**HR30305DJ**) y II (**HR30206J**) puede obtenerse a partir de las siguientes ecuaciones:

$$F_{rI} = 5\,500 \times \frac{23.9}{83.8} = 1\,569\text{N}, \{160\text{kgf}\}$$

$$F_{rII} = 5\,500 \times \frac{59.9}{83.8} = 3\,931\text{N}, \{401\text{kgf}\}$$

Partiendo de los datos de la tabla de rodamientos, se obtienen los siguientes valores;

Rodamientos	Índice básico de carga dinámica C _r (N) (kgf)	Axial load factor Y ₁	Constante e
Rodamiento I (HR30305DJ)	38 000 (3 900)	Y1 = 0.73	0.83
Rodamiento II (HR30206J)	43 000 (4 400)	Y2 = 1.60	0.38

Cuando se aplican cargas radiales sobre los rodamientos de rodillos cónicos, se produce un componente de carga axial que debe tenerse en cuenta para obtener la carga radial equivalente dinámica (consulte el Párrafo 5.4.2, Página A31).

SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

$$F_{ar} + \frac{0.6}{Y_{II}} F_{rII} = 2000 + \frac{0.6}{1.6} \times 3931$$

$$= 3474 \text{ N, } \{354 \text{ kgf}\}$$

$$\frac{0.6}{Y_I} F_{rI} = \frac{0.6}{0.73} \times 1569 = 1290 \text{ N, } \{132 \text{ kgf}\}$$

Por lo tanto, con esta disposición de los rodamientos, la

carga axial $F_{ar} + \frac{0.6}{Y_I} F_{rI}$ se aplica sobre el rodamiento I pero no sobre el rodamiento II.

Para el rodamiento I

$$F_{rI} = 1569 \text{ N, } \{160 \text{ kgf}\}$$

$$F_{aI} = 3474 \text{ N, } \{354 \text{ kgf}\}$$

ya que $F_{aI} / F_{rI} = 2.2 > e = 0.83$

la carga dinámica equivalente $P_I = X F_{rI} + Y_I F_{aI}$

$$= 0.4 \times 1569 + 0.73 \times 3474$$

$$= 3164 \text{ N, } \{323 \text{ kgf}\}$$

El factor de vida de fatiga

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P_I}$$

$$= \frac{0.42 \times 38000}{3164} = 5.04$$

y el índice de vida de fatiga $L_h = 500 \times 5.04^{\frac{10}{3}} = 109750 \text{ h}$

Para el rodamiento II

ya que $F_{rII} = 3931 \text{ N, } \{401 \text{ kgf}\}$ $F_{aII} = 0$

la carga dinámica equivalente

$$P_{II} = F_{rII} = 3931 \text{ N, } \{401 \text{ kgf}\}$$

el factor de vida de fatiga

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P_{II}} = \frac{0.42 \times 43000}{3931} = 4.59$$

y se obtiene el índice de vida de fatiga

$$L_h = 500 \times 4.59^{\frac{10}{3}} = 80400 \text{ h}$$

Observaciones Para disposiciones cara a cara (tipo DF), consulte con NSK.

(Ejemplo 6)

Seleccione un rodamiento para un reductor de la velocidad bajo las siguientes condiciones:

Condiciones de funcionamiento

Carga radial $F_r = 245.000 \text{ N, } \{25.000 \text{ kgf}\}$

Carga axial $F_a = 49.000 \text{ N, } \{5.000 \text{ kgf}\}$

Velocidad $n = 500 \text{ rpm}$

Limitación de tamaño

Diámetro del eje: 300 mm

Diámetro interior del alojamiento: Menos de 500 mm

En esta aplicación se esperan cargas pesadas, impactos y desviación del eje; por lo tanto, lo más adecuado son rodamientos de rodillos esféricos.

Los siguientes rodamientos de rodillos esféricos cumplen con la anterior limitación de tamaño (consulte la Página B192)

d	D	B	Nº de rodamiento	Índice básico de carga dinámica C_r		Constante e	Factor Y_3
				(N)	(kgf)		
300	420	90	23960 CAE4	1 230 000	125 000	0.19	3.5
	460	118	23060 CAE4	1 920 000	196 000	0.24	2.8
	460	160	24060 CAE4	2 310 000	235 000	0.32	2.1
500	160		23160 CAE4	2 670 000	273 000	0.31	2.2
	200		24160 CAE4	3 100 000	315 000	0.38	1.8

ya que $F_a / F_r = 0.20 < e$

la carga dinámica equivalente P es

$$P = F_r + Y_3 F_a$$

Teniendo en cuenta el factor de vida de fatiga f_h en la Tabla 5.1 y los ejemplos de aplicaciones (consulte la Página A25), parece adecuado un valor de f_h entre 3 y 5.

$$f_h = f_n \frac{C_r}{P} = \frac{0.444 C_r}{F_r + Y_3 F_a} = 3 \sim 5$$

Assumiendo que $Y_3 = 2.1$, puede obtenerse el índice básico de carga necesario C_r

$$C_r = \frac{(F_r + Y_3 F_a) \times (3 \sim 5)}{0.444}$$

$$= \frac{(245000 + 2.1 \times 49000) \times (3 \sim 5)}{0.444}$$

$$= 2350000 \sim 3900000 \text{ N,}$$

$$\{240000 \sim 400000 \text{ kgf}\}$$

Los rodamientos que cumplen estos requisitos son **23160CAE4** y **24160CAE4**.