

1 Vida útil y capacidad de carga del rodamiento

1-1 Vida útil del rodamiento

Los rodamientos están sometidos a cierta intensidad de esfuerzo repetitivo en su aro de pista de rodadura y elemento rodante incluso durante la operación bajo la carga adecuada, el montaje apropiado, y lubricación suficiente. El esfuerzo puede causar daños por las escamas formadas en la superficie después de cierto tiempo debido a su concentración en la zona poca profunda bajo la superficie. Este fenómeno se denomina separación en forma de escamas (exfoliación de la superficie). El fenómeno que hace que el rodamiento llegue a ser inservible debido a la separación de escamas causada por el esfuerzo cíclico repetitivo bajo condiciones normales de operación se denomina "vida útil" del rodamiento. En general, la vida útil de un rodamiento se define mediante el número total de rotaciones del rodamiento hasta que se genera la separación en forma de escamas en la superficie de la pista. Sin embargo, el reconocer la vida útil media como criterio de vida útil del rodamiento no es apropiado para la selección real del rodamiento ya que la limitación de fatiga del material varía. Será más práctico considerar la vida útil garantizada a la mayoría de los rodamientos (vida útil efectiva básica) como criterio. El fenómeno por el que el rodamiento queda inoperante debido al agarrotamiento por calor, el desgaste, la fractura, y el rayado se toma como "fallo" causado por las condiciones de operación y la selección del rodamiento de forma que esto y la vida útil deberán considerarse como fenómenos diferentes.

1-2 Vida útil efectiva básica

La vida útil efectiva básica del rodamiento se definirá como el número total de rotaciones con las que el 90 % del grupo de los mismos rodamientos puede funcionar sin causar la separación en forma de escamas debida a la fatiga de rodadura cuando se operen bajo las mismas condiciones.

En el caso de rotación a cierta velocidad constante, la vida útil efectiva básica puede expresarse también en tiempo de rotación total.

1-3 Capacidad de carga dinámica básica

Una carga radial estática dada bajo la cual un rodamiento soporta teóricamente la vida útil efectiva básica de un millón de rotaciones se denomina capacidad de carga dinámica básica.

1-4 Carga dinámica equivalente

Carga radial dinámica equivalente

La carga que se aplica virtualmente al centro de un rodamiento bajo la cual se obtiene una vida útil equivalente a la del caso de aplicar al mismo tiempo carga radial y carga axial al rodamiento se denomina carga radial dinámica equivalente. En el caso de un rodamiento de agujas, su tipo radial sólo admite carga radial, por lo que únicamente se le aplicará carga radial.

1-5 Fórmula de cálculo de la vida útil del rodamiento

La relación siguiente se aplica a la vida útil efectiva básica, la capacidad de carga dinámica básica, y la carga dinámica equivalente del rodamiento.

$$L_{10} = (Cr / Pr)^{10/3} \dots \dots \dots (1.1)$$

- L_{10} : Vida útil efectiva básica 10⁶ rotación
- Cr : Capacidad de carga dinámica básica N
- Pr : Carga radial dinámica equivalente N

La vida útil efectiva básica puede expresarse como el tiempo de rotación total con unas rotaciones por minuto dadas mediante la fórmula siguiente.

$$L_h = 10^6 L_{10} / 60n = 500 f_h^{10/3} \dots \dots \dots (1.2)$$

$$f_h = f_n Cr / Pr \dots \dots \dots (1.3)$$

$$f_n = (33.3 / n)^{3/10} \dots \dots \dots (1.4)$$

- L_h : Vida útil efectiva básica expresada en horas h
- n : Rotaciones por minuto rpm
- f_h : Factor de vida útil del rodamiento
- f_n : Factor de velocidad

1-6 Condiciones de operación y factor de vida útil del rodamiento

Accionamiento de maquinaria y vida útil exigida

Los rodamientos deberán seleccionarse basándose en la vida útil exigida de acuerdo con el accionamiento de maquinaria y las condiciones de operación.

La vida útil exigida se determina mediante duración de aguante para accionar de maquinaria y períodos de operación fiable.

En la Tabla 1 se indica la vida útil exigida, que puede tomarse como referencia típica.

Tabla 1 Condiciones de operación y factor de vida útil exigida (referencia)

Condiciones de operación	Factor de vida útil del rodamiento f_h				
	~3	2~4	3~5	4~7	6~
Operación de corta duración u ocasional	Electrodomésticos Herramientas eléctricas	Maquinaria agrícola Equipos de oficina			
Operación de corta duración u ocasional, pero necesidad de asegurar una operación fiable	Equipos médicos Instrumentos de medición	Acondicionador de aire para el hogar Maquinaria de construcción Grúa	Ascensor	Grúa (rueda de polea)	
Operación de larga duración pero no a tiempo completo		Motor de pequeño tamaño Sistema de engranajes en general Maquinaria de carpintería Automóvil de pasajeros	Máquinas herramienta Motor de aplicación general en fábricas Trituradora	Sistema de engranajes importante Rodillo de calendario para caucho y plástico Máquina impresora	
Operación continua de más de ocho horas diarias		Máquina laminadora Escalera mecánica Cinta transportadora Separador centrífugo	Acondicionador de aire Motor de tamaño grande Compresor, bomba	Torno de extracción Máquina de prensa	Máquina de fabricación de pulpa, papel
Operación las 24 horas del día y no debe parar sin accidente					Sistema hidráulico Sistema electrogenerador

1-7 Vida útil efectiva corregida

La fórmula para vida útil efectiva básica descrita arriba se aplica a rodamientos con una fiabilidad del 90 %, cuyo material es para rodamientos de aplicación general y están fabricados con normas de calidad estándar, así como los utilizados en condiciones de operación estándar. La duración efectiva corregida deberá calcularse utilizando el factor de corrección a_1 , a_2 y a_3 en el caso de que la fiabilidad sea de más del 90 %, o de que la vida útil necesite obtenerse para propiedades o condiciones de operación especiales de rodamiento.

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 L_{10} \dots \dots \dots (1.5)$$

- L_{na} : Ajuste de la vida útil efectiva 10^6 rotación
- a_1 : Factor de fiabilidad
- a_2 : Factor de propiedades especiales de rodamiento
- a_3 : Factor de condiciones de operación

1-7-1 Factor de fiabilidad

Factor de fiabilidad a_1

Éste es el factor corregido de vida útil del rodamiento para fiabilidad (100-n) % cuando la probabilidad de fallo es n %. En la Tabla 2 se muestra el valor del factor de fiabilidad a_1 .

Tabla 2 Factor de fiabilidad a_1

Fiabilidad (%)	L_n	a_1
90	L_{10}	1
95	L_5	0,62
96	L_4	0,53
97	L_3	0,44
98	L_2	0,33
99	L_1	0,21

1-7-2 Factor de propiedades especiales de rodamiento

Factor de propiedades especiales de rodamiento a_2

El factor de propiedades especiales de rodamiento a_2 se utiliza para ajustar la variación de las propiedades concernientes a la vida útil en el caso de que el tipo de material, la calidad, o el proceso de fabricación sean especiales. Este factor deberá ser $a_2=1$ para método de material y fabricación estándar. Puede ser $a_2 > 1$ cuando se utilice material modificado o método de fabricación especial debido a la calidad mejorada del material o al progreso de la tecnología de fabricación de rodamientos.

1-7-3 Factor de condiciones de operación

Factor de condiciones de operación a_3

Éste es un factor para ajustar el impacto de las condiciones de operación del rodamiento, en especial el efecto de la lubricación en su vida útil por fatiga.

La vida útil del rodamiento es esencialmente un fenómeno de fatiga de la capa de superficie que está sometida a carga cíclica repetitiva.

Por lo tanto, este factor será $a_3=1$ en condiciones ideales de lubricación cuando el elemento rodante y la superficie de rodadura están completamente aislados por una película de aceite y el fallo de superficie pueda ignorarse. En condiciones de lubricación deficiente, como baja viscosidad del lubricante, o bajo velocidad de rotación significativamente baja del elemento rodante, deberá ser $a_3 < 1$.

Por el contrario, puede ser $a_3 > 1$ en condiciones de lubricación especialmente excelentes. En general, el factor de propiedades especiales de rodamiento a_2 no puede ajustarse a un valor que sobrepase 1 cuando $a_3 < 1$.

1-8 Ajuste de capacidad de carga dinámica básica para factores de temperatura y dureza

1-8-1 Factor de temperatura

Aunque la temperatura de operación del rodamiento se define individualmente de acuerdo con el material y la estructura, el rodamiento es capaz de poder utilizarse a temperaturas superiores a 150 °C aplicándole un tratamiento especial para resistencia térmica. Sin embargo, esto causará la reducción de la capacidad de carga dinámica básica como resultado del esfuerzo de contacto permisivo. La capacidad de carga dinámica básica teniendo en cuenta el incremento de la temperatura se obtiene mediante la fórmula siguiente.

$$C_1 = f_1 Cr \dots \dots \dots (1.6)$$

- C_1 : Capacidad de carga dinámica básica teniendo en cuenta el incremento de la temperatura N
- f_1 : Factor de temperatura (Consulte la Figura 1)
- Cr : Capacidad de carga dinámica básica N

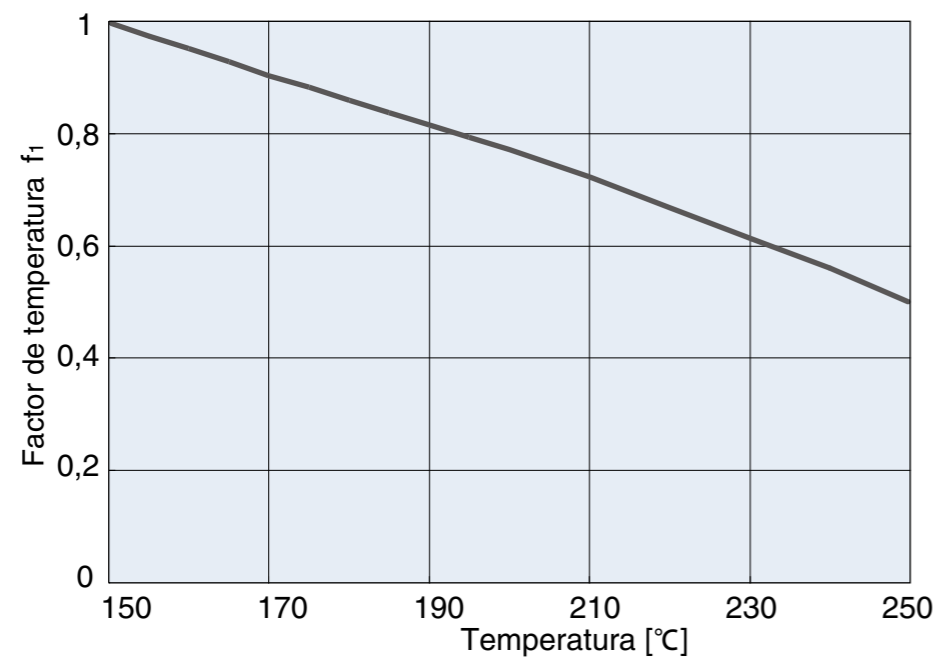


Figura 1

1-8-2 Factor de dureza

La superficie de la pista de rodadura deberá ser HRC58 a 64 en el caso de utilizar eje o alojamiento como pista de rodadura en vez de aro interior o aro exterior de rodamiento, respectivamente. La capacidad de carga dinámica básica puede reducirse en el caso de que la dureza de la superficie sea inferior a HRC58. La capacidad de carga dinámica básica teniendo en cuenta la dureza de la superficie se obtiene mediante la fórmula siguiente.

$$C_2 = f_2 Cr \dots \dots \dots (1.7)$$

- C_2 : Capacidad de carga dinámica básica teniendo en cuenta la dureza N
- f_2 : Factor de rigidez (Consulte la Figura 2)
- Cr : Capacidad de carga dinámica básica N

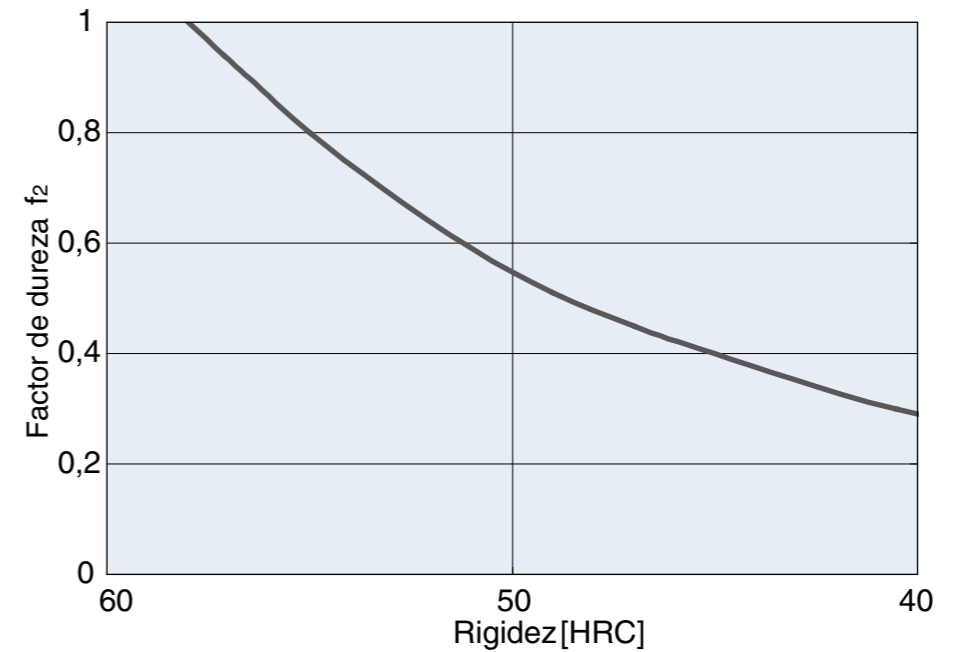


Figura 2

1-9 Capacidad de carga estática básica

La capacidad de carga estática básica se especifica como una carga estática que corresponde al esfuerzo de contacto indicado en la tabla siguiente en el elemento rodante y el centro de contacto de la pista de rodadura que están sometidos a la carga máxima. La deformación permanente total del elemento rodante y la pista de rodadura que se produce por el esfuerzo de contacto puede ser de aproximadamente 0,0001 veces del diámetro del elemento rodante.

Tipo de rodamiento	Esfuerzo de contacto MPa
Rodamiento de rodillos	4000

2 Carga del rodamiento

1-10 Carga estática equivalente

La carga que se aplica virtualmente al centro de un rodamiento bajo la cual se obtiene un esfuerzo de contacto equivalente al esfuerzo de contacto máximo que ocurre en la superficie de contacto entre el elemento rodante y la pista de rodadura, cuando la carga radial y carga axial se aplican al rodamiento al mismo tiempo, se denomina carga estática equivalente.

En el caso de un rodamiento de agujas, su tipo radial sólo admite carga radial, por lo que únicamente se le aplicará carga radial.

$$P_{or} = F_r \dots\dots\dots (1.8)$$

P_{or} : Carga radial estática equivalente N

1-11 Factor de seguridad estática

Aunque el límite permisivo de carga estática equivalente se toma típicamente como capacidad de carga estática básica, su límite deberá establecerse teniendo en cuenta la seguridad porque las condiciones requeridas para los rodamientos varían ampliamente. El factor de seguridad estática f_s se obtiene mediante la fórmula siguiente (1.9). En la Tabla 3 se muestran sus valores típicos.

$$f_s = \frac{C_{or}}{P_{or}} \dots\dots\dots (1.9)$$

f_s : Factor de seguridad

C_{or} : Capacidad de carga estática básica N

Tabla 3 Factor de seguridad estática

Condiciones de operación del rodamiento	f_s
Con precisión de rotación alta Con carga de impacto	≥ 3
Con precisión de rotación estándar	$\geq 1,5$
Con precisión de rotación estándar y baja velocidad	≥ 1

1-12 Velocidad de rotación permisiva

El aumento de la velocidad de rotación del rodamiento puede causar el incremento de la temperatura del mismo debido a al calor de abrasión generado en el interior del rodamiento, que resulta en fallo con agarrotamiento por calor. La velocidad de rotación de umbral hasta la que se posibilita una operación segura de larga duración se denomina velocidad de rotación permisiva.

La velocidad de rotación permisiva varía dependiendo del tipo, el tamaño, la carga, el método de lubricación, y el juego radial del rodamiento. Es un valor experimental con el que se posibilita la operación sin que se genere calor que sobrepase cierto límite.

2-1 Factor de carga

La operación en maquinaria real está sometida a una carga mayor que la carga en dirección axial teórica debido a la vibración y el impacto.

La carga real se obtiene calculando la carga aplicada al sistema de ejes utilizando el factor de carga mostrado en la Tabla 4.

$$K = f_w \cdot K_c \dots\dots\dots (2.1)$$

K : Carga real aplicada al sistema de ejes N

K_c : Valor de cálculo teórico N

f_w : Factor de carga (Tabla 4)

Tabla 4 Factor de carga

Grado de carga	Ejemplos	f_w
Movimiento uniforme sin ningún impacto	Acondicionador de aire, instrumentos de medición, equipos de oficina	1 ~ 1,2
Con rotación estándar	Caja de engranajes, vehículo, máquina de fabricación de papel	1,2 ~ 1,5
Operación con vibración e impacto	Máquina laminadora, maquinaria de construcción, trituradora	1,5 ~ 3

2-2 Distribución de carga

Distribución de carga al rodamiento

El sistema de ejes se toma como una viga estática soportada por rodamientos para distribuir carga que actúa en el sistema de ejes a los rodamientos. En la Tabla 5 se muestra un ejemplo de cálculo de distribución de carga.

Tabla 5 Ejemplo de cálculo de distribución de carga

Ejemplos	Cálculo de carga
	$F_1 = \frac{W_1(b+c) + W_2c}{a+b+c}$ $F_2 = \frac{W_1a + W_2(a+b)}{a+b+c}$
	$F_1 = \frac{W_1(a+b+c) + W_2c}{b+c}$ $F_2 = \frac{W_2b - W_1a}{b+c}$

2-3 Transmisión de carga

Cargas de rodamientos en transmisión por correa o cadena

La fuerza que actúa en la polea o rueda dentada cuando se transmite potencia mediante una correa o cadena se obtiene mediante la fórmula siguiente.

$$T = 9550P/N \dots \dots \dots (2.2)$$

$$F_t = 2000 \cdot T/d \dots \dots \dots (2.3)$$

- T** : Par de torsión que actúa sobre la polea o rueda dentada N·m
- F_t** : Fuerza efectiva transmitida por la correa o cadena N
- P** : Potencia transmitida kW
- N** : Rotaciones por minuto rpm
- d** : Diámetro efectivo de la polea o rueda dentada mm

La carga F_r que actúa sobre el eje de la polea se obtiene multiplicando la fuerza efectiva transmitida F_t por el factor de correa f_b mostrado en la Tabla 6 en el caso de transmisión por correa.

$$F_r = f_b F_t \dots \dots \dots (2.4)$$

Tabla 6 Factor de correa

Tipo de correa	f_b
Correa trapezoidal	2 ~ 2,5
Correa plana (con polea tensora)	2,5 ~ 3
Correa plana (sin polea tensora)	4 ~ 5

En el caso de transmisión por cadena, la carga que actúa sobre el eje de la rueda dentada se obtiene mediante la fórmula (2.4) de la misma forma que para la transmisión por correa utilizando un valor entre 1,2 y 1,5 como factor de cadena correspondiente a f_b .

Cargas de rodamientos en transmisión por engranaje

En el caso de transmisión de potencia por engranaje, los métodos de cálculo varían dependiendo del tipo de engranaje ya que la fuerza que actúa sobre el engranaje se divide en carga radial y carga axial, y su dirección y relación varían dependiendo del tipo de engranaje. En el caso del engranaje plano más sencillo, la dirección de la carga es radial solamente y se obtiene mediante la fórmula siguiente.

$$T = 9550P/N \dots \dots \dots (2.5)$$

$$F_t = 2000 \cdot T/d \dots \dots \dots (2.6)$$

$$F_r = F_t \cdot \tan \alpha \dots \dots \dots (2.7)$$

$$F_c = \sqrt{F_t^2 + F_r^2} \dots \dots \dots (2.8)$$

- T** : Par de torsión que actúa sobre el engranaje N·m
- F_t** : Fuerza en dirección tangencial del engranaje N
- F_r** : Fuerza en dirección radial del engranaje N
- F_c** : Fuerza combinada que actúa perpendicularmente al engranaje N
- P** : Potencia transmitida kW
- N** : Rotaciones por minuto rpm
- d** : Diámetro del círculo del paso del engranaje impulsor mm
- α** : Ángulo de presión del engranaje

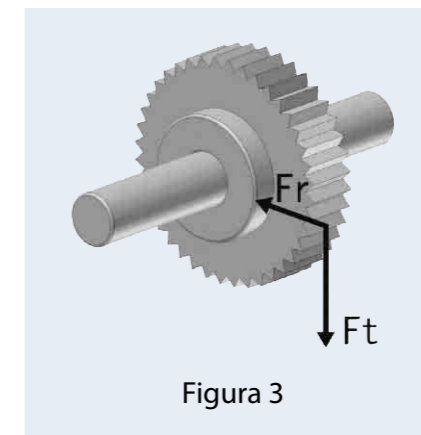


Figura 3

El valor que se obtiene al multiplicar la carga teórica por el factor de engranaje f_z de la Tabla 7 deberá utilizarse como carga real porque el grado de vibración e impacto que afecta la carga teórica obtenida mediante la fórmula de arriba varía dependiendo del tipo de engranaje y la precisión del acabado de la superficie del engranaje.

$$F = f_z F_c \dots \dots \dots (2.9)$$

Tabla 7 Factor de engranaje

Tipo de engranaje	f_z
Engranaje de precisión (Tanto el error de paso como el error geométrico son 0,02 mm o menos)	1,05 ~ 1,1
Engranaje maquinado normal (Tanto el error de paso como el error geométrico es entre 0,02 mm y 0,1 mm)	1,1 ~ 1,3

Carga media

La carga media F_m que se convierte para aplicar duración uniforme a cada rodamiento puede utilizarse en el caso de que la carga que actúa sobre el rodamiento sea inestable y cambie en varios ciclos.

(1) Carga escalonada fluctuante

La carga media F_m se obtiene mediante la fórmula (2.10) en el caso de que la carga del rodamiento F_1, F_2, F_3, \dots se aplique con velocidad de rotación de n_1, n_2, n_3, \dots y duración de operación de t_1, t_2, t_3, \dots respectivamente.

$$F_m = \left[\frac{(F_1^{10/3} \cdot n_1 t_1 + F_2^{10/3} \cdot n_2 t_2 + \dots + F_n^{10/3} \cdot n_n t_n)}{(n_1 t_1 + n_2 t_2 + \dots + n_n t_n)} \right]^{3/10} \dots \dots \dots (2.10)$$

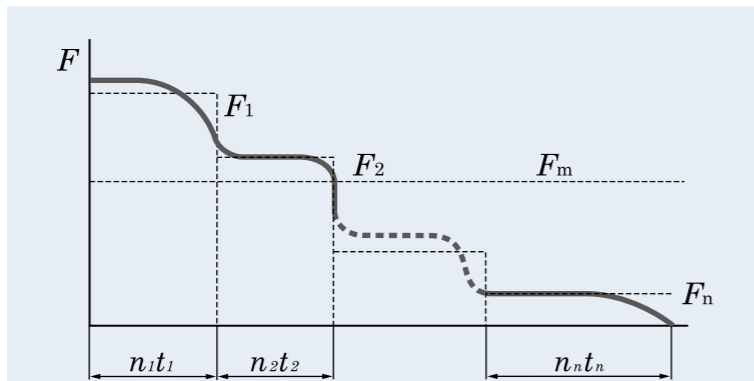


Figura 4 Carga cambiando en incrementos escalonados

(2) Carga continuamente fluctuante

La carga media se obtiene mediante la fórmula (2.11) en el caso de que la carga pueda expresarse en función $F(t)$ del tiempo t con el ciclo t_0 .

$$F_m = \left[\frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} F(t)^{10/3} dt \right]^{3/10} \dots \dots \dots (2.11)$$

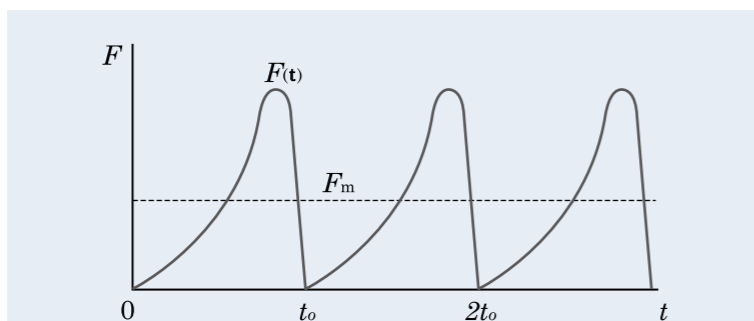


Figura 5 Carga cambiando en función del tiempo

(3) Carga aproximadamente lineal

La carga media F_m se obtiene aproximadamente mediante la fórmula (2.12).

$$F_m = \frac{F_{min} + 2F_{max}}{3} \dots \dots \dots (2.12)$$

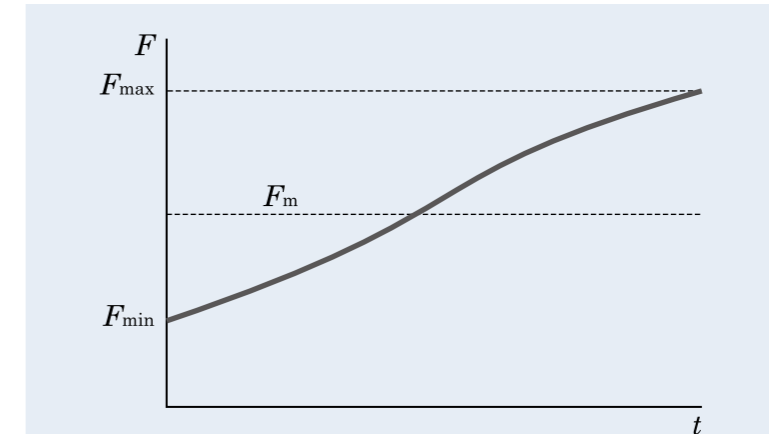


Figura 6 Carga cambiando en incrementos lineales

(4) Carga fluctuante sinusoidal

La carga media F_m se obtiene aproximadamente mediante la fórmula (2.13) y la fórmula (2.14).

$$(a): F_m = 0.75 F_{max} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$(b): F_m = 0.65 F_{max} \dots \dots \dots (2.14)$$

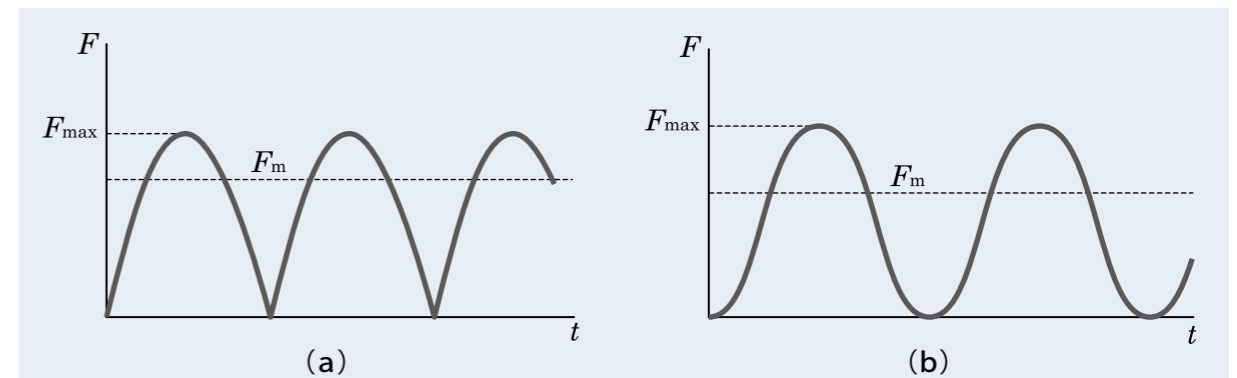


Figura 7 Carga cambiando en fluctuación de onda sinusoidal

3 Precisión de rodamiento

3-1 Precisión

La precisión de dimensiones, precisión geométrica, y precisión de rotación del rodamiento se especifican en las normas ISO y JIS B 1514 (Rodamientos de rodillos – Tolerancias de rodamientos).

La clase de precisión del rodamiento de agujas se especifica mediante cuatro clases desde la más baja 0 a 6.^a, 5.^a y 4.^a, que es la más alta. Aunque el rodamiento de alta precisión de la clase 5.^a o 4.^a puede utilizarse en aplicaciones que exijan gran precisión o alta velocidad de rotación, la clase 0 es la más utilizada para aplicaciones generales.

Tabla 8 Precisión del aro interior

Unidad: μm

d Diámetro interior nomi- nal del ro- damiento (mm)	Δ_{dmp} Desviación de diámetro interior medio en un plano único								V_{dsp} Variación de diámetro interior en un plano único				V_{dmp} Variación del diámetro interior medio en un plano único				K_{ia} Descentramiento radial del aro interior del ro- damiento ensamblado				S_d Descentramiento de la cara de referencia con diámetro interior (aro interior)		Δ_{Bs} Desviación de anchura de aro interior único				V_{Bs} Variación de anchura de aros interiores				d Diámetro interior nomi- nal del ro- damiento (mm)		
	0	6	5	4	0	6	5	4	0	6	5	4	0	6	5	4	0	6	5	4	5	4	0,6	5,4	0	6	5	4	Más de	Incl.			
Más de 2,5 ¹⁾	Incl. 10	alta 0	baja -8	alta 0	baja -7	alta 0	baja -5	alta 0	baja -4	máx.				máx.				máx.				máx.		alta 0	baja -120	alta 0	baja -40	máx.				Más de 2,5 ¹⁾	Incl. 10
10	18	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	10	9	5	4	6	5	3	2	10	7	4	2,5	7	3	0	-120	0	-80	20	20	5	2,5	10	18
18	30	0	-10	0	-8	0	-6	0	-5	13	10	6	5	8	6	3	2,5	13	8	4	3	8	4	0	-120	0	-120	20	20	5	2,5	18	30
30	50	0	-12	0	-10	0	-8	0	-6	15	13	8	6	9	8	4	3	15	10	5	4	8	4	0	-120	0	-120	20	20	5	3	30	50
50	80	0	-15	0	-12	0	-9	0	-7	19	15	9	7	11	9	5	3,5	20	10	5	4	8	5	0	-150	0	-150	25	25	6	4	50	80
80	120	0	-20	0	-15	0	-10	0	-8	25	19	10	8	15	11	5	4	25	13	6	5	9	5	0	-200	0	-200	25	25	7	4	80	120
120	150	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	31	23	13	10	19	14	7	5	30	18	8	6	10	6	0	-250	0	-250	30	30	8	5	120	150
150	180	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	31	23	13	10	19	14	7	5	30	18	8	6	10	6	0	-250	0	-250	30	30	8	5	150	180
180	250	0	-30	0	-22	0	-15	0	-12	38	28	15	12	23	17	8	6	40	20	10	8	11	7	0	-300	0	-300	30	30	10	6	180	250
250	315	0	-35	0	-25	0	-18	—	—	44	31	18	—	26	19	9	—	50	25	13	—	13	—	0	-350	0	-350	35	35	13	—	250	315

1) En este grupo de dimensiones se incluye 2,5 mm

Tabla 9 Precisión del aro exterior

Unidad: μm

D Diámetro exterior nomi- nal del ro- damiento (mm)	Δ_{Dmp} Desviación de diámetro exterior medio en un plano único								V_{Dsp} Variación de diámetro exterior en un plano único				V_{Dmp} Variación de diámetro exterior medio en un plano único				K_{ea} Descentramiento radial del aro exterior del ro- damiento ensamblado				S_D Variación de la inclinación de la gener- atriz de la superficie exterior con respecto a la cara (aro exterior)		Δ_{Cs} Desviación de anchura de aro exterior único				V_{Cs} Variación de anchura de aro exterior				D Diámetro exterior nomi- nal del ro- damiento (mm)				
	0	6	5	4	0	6	5	4	0	6	5	4	0	6	5	4	0	6	5	4	5	4	0,6,5,4	alta	baja	0	6	5	4	Más de	Incl.				
Más de 2,5 ²⁾	Incl. 6	alta 0	baja -8	alta 0	baja -7	alta 0	baja -5	alta 0	baja -4	máx.				máx.				máx.				máx.		alta 0	baja -9	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Más de 2,5 ²⁾	Incl. 6
6	18	0	-8	0	-7	0	-5	0	-4	10	9	5	4	6	5	3	2	15	8	5	3	8	4	0	-9	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				6	18
18	30	0	-9	0	-8	0	-6	0	-5	12	10	6	5	7	6	3	2,5	15	9	6	4	8	4	0	-9	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				18	30
30	50	0	-11	0	-9	0	-7	0	-6	14	11	7	6	8	7	4	3	20	10	7	5	8	4	0	-11	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				30	50
50	80	0	-13	0	-11	0	-9	0	-7	16	14	9	7	10	8	5	3,5	25	13	8	5	8	4	0	-13	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				50	80
80	120	0	-15	0	-13	0	-10	0	-8	19	16	10	8	11	10	5	4	35	18	10	6	9	5	0	-15	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				80	120
120	150	0	-18	0	-15	0	-11	0	-9	23	19	11	9	14	11	6	5	40	20	11	7	10	5	0	-18	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				120	150
150	180	0	-25	0	-18	0	-13	0	-10	31	23	13	10	19	14	7	5	45	23	13	8	10	5	0	-25	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				150	180
180	250	0	-30	0	-20	0	-15	0	-11	38	25	15	11	23	15	8	6	50	25	15	10	11	7	0	-30	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				180	250
250	315	0	-35	0	-25	0	-18	0	-13	44	31	18	13	26	19	9	7	60	30	18	11	13	8	0	-35	Dependiendo de la tolerancia de Δ_{Bs} para D del mismo rodamiento,				Dependiendo de la tolerancia de V_{Bs} para D del mismo rodamiento,				250	315

2) En este grupo de dimensiones se incluye 2,5 mm

Tabla 10 Tolerancia permisiva del bisel

Unidad: mm

r_s min	d Diámetro interior nominal del rodamiento		Dirección radial	Dirección axial
	Más de	Incl.	r_s max	
0,15	—	—	0,3	0,6
0,2	—	—	0,5	0,8
0,3	— 40	40 —	0,6 0,8	1 1
0,6	— 40	40 —	1 1,3	2 2
1	— 50	50 —	1,5 1,9	3 3
1,1	— 120	120 —	2 2,5	3,5 4
1,5	— 120	120 —	2,3 3	4 5
2	— 80 220	80 220 —	3 3,5 3,8	4,5 5 6
2,1	— 280	280 —	4 4,5	6,5 7
2,5	— 100 280	100 280 —	3,8 4,5 5	6 6 7
3	— 280	280 —	5 5,5	8 8
4	—	—	6,5	9

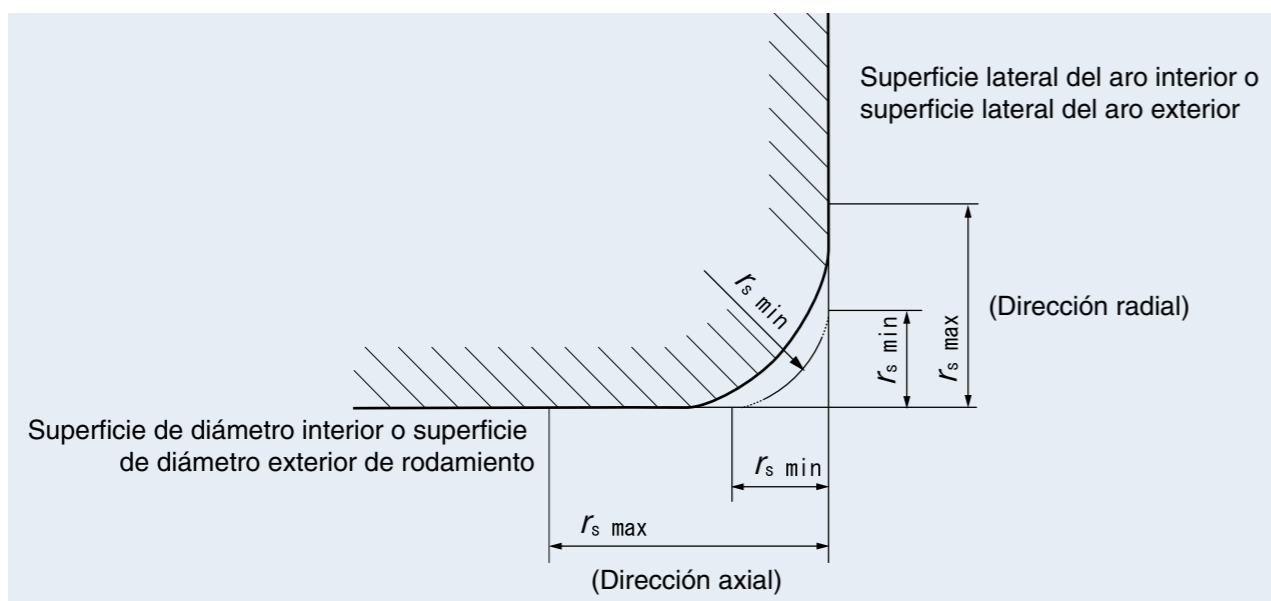
* Observación Aunque no se especifica forma particular para la superficie del bisel, su contorno en el plano axial deberá estar dentro del arco virtual de radio r_s min que está tangente a la pendiente de la cara del aro interior y el aro exterior del rodamiento, o tangente al lado del aro exterior y el diámetro exterior del rodamiento. (Diagrama de referencia)

Tabla 11 Tolerancia del valor mínimo del diámetro del círculo inscrito en el rodillo

Unidad: μ m

Fw (mm) Diámetro del círculo inscrito		Diferencia de dimensiones de ΔF_w min Variación del valor mínimo del diámetro del círculo inscrito en el rodillo	
Más de	Incl.	alta	baja
3	6	+18	+10
6	10	+22	+13
10	18	+27	+16
18	30	+33	+20
30	50	+41	+25
50	80	+49	+30
80	120	+58	+36
120	180	+68	+43
180	250	+79	+50
250	315	+88	+56

Esto significa diámetro del rodillo cuyo juego radial pasa a ser cero en una dirección radial por lo menos en caso de utilizar rodillo cilíndrico en vez de aro interior de rodamiento.



3-2 Método de medición

Medición de diámetro interior único

Tabla 12 Diámetro interior del rodamiento

Tipo y definición de precisión	
d_{mp} Diámetro interior medio en un plano único	Media aritmética del valor máximo y mínimo de diámetros interiores únicos en plano radial único. $d_{mp} = \frac{d_{sp\ max} + d_{sp\ min}}{2}$ d_{sp} : Diámetro interior único en un plano radial particular.
Δ_{dmp} Desviación de diámetro interior medio en un plano único	Diferencia entre el diámetro interior medio y el diámetro interior nominal. $\Delta_{dmp} = d_{mp} - d$ d : Diámetro interior nominal del rodamiento.
V_{dsp} Variación del diámetro interior único en un plano único	Diferencia entre el valor máximo y mínimo de diámetro interior único en plano radial único. $V_{dsp} = d_{sp\ max} - d_{sp\ min}$
V_{dmp} Variación del diámetro interior medio en un plano único	Diferencia entre el valor máximo y mínimo del diámetro interior medio en plano radial único en aro de rodadura individual con cara de diámetro interior básicamente cilíndrica. $V_{dmp} = d_{mp\ max} - d_{mp\ min}$
Δ_{ds} Desviación de diámetro interior único	Diferencia entre el diámetro interior único y el diámetro interior nominal. $\Delta_{ds} = d_s - d$ d_s : Distancia entre dos líneas paralelas que están tangentes a la línea de intersección de la cara del diámetro interior real y el plano radial.

Método de medición del diámetro interior del rodamiento

Ponga a cero el indicador del calibrador al tamaño apropiado utilizando bloques de calibrador o un aro patrón. En varias direcciones angulares y en un plano radial único, mida y anote los diámetros interiores más grande y más pequeño, $d_{sp\ max}$ y $d_{sp\ min}$. Repita las mediciones y anotaciones angulares en varios planos radiales para determinar el diámetro interior único más grande y más pequeño de un aro individual, $d_{s\ max}$ y $d_{s\ min}$.

Tabla 13 Límite de área de medición Unidad: mm

r s min		a
Más de	o menos de	
-	0,6	$r_{s\ max} + 0,5$
0,6	-	$1,2 \times r_{s\ max}$

Medición de diámetro exterior único

Tabla 14 Diámetro exterior del rodamiento

Tipo y definición de precisión	
D_{mp} Diámetro exterior medio en un plano único	Media aritmética del valor máximo y mínimo de diámetros exteriores únicos en plano radial único. $D_{mp} = \frac{D_{sp\ max} + D_{sp\ min}}{2}$ D_{sp} : Diámetro exterior único en un plano radial particular
Δ_{Dmp} Desviación de diámetro exterior medio en un plano único	Diferencia entre el diámetro exterior medio en un plano único de la cara del diámetro exterior cilíndrica y diámetro exterior nominal. $\Delta_{Dmp} = D_{mp} - D$ D : Diámetro exterior nominal del rodamiento.
V_{Dsp} Desviación de diámetro exterior único	Diferencia entre el valor máximo y mínimo del diámetro exterior medio en plano radial único. $V_{Dsp} = D_{sp\ max} - D_{sp\ min}$
V_{Dmp} Variación de diámetro exterior medio en un plano único	Diferencia entre el valor máximo y mínimo del diámetro exterior medio en plano radial único en aro de rodadura individual con cara de diámetro exterior básicamente cilíndrica. $V_{Dmp} = D_{mp\ max} - D_{mp\ min}$
Δ_{Ds} Desviación de diámetro exterior único	Diferencia entre el diámetro exterior único en cara de diámetro exterior básicamente cilíndrica y diámetro exterior nominal. $\Delta_{Ds} = D_s - D$ D_s : Distancia entre dos líneas paralelas que están tangentes a la línea de intersección de la cara del diámetro exterior real y el plano radial.

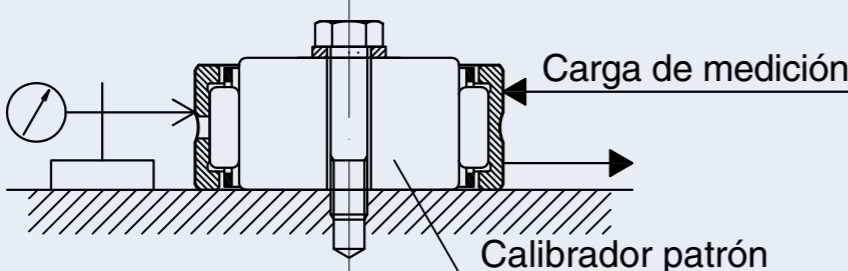
Método de medición del diámetro exterior del rodamiento

Ponga a cero el indicador del calibrador al tamaño apropiado utilizando bloques de calibrador o un patrón. En varias direcciones angulares y en un plano radial único, mida y anote los diámetros exteriores más grande y más pequeño, $D_{sp\ max}$ y $D_{sp\ min}$. Repita y anote mediciones en varios planos radiales para determinar el diámetro exterior único más grande y más pequeño de un aro individual, $D_{s\ max}$ y $D_{s\ min}$.

Medición de diámetro interior único del complemento del elemento rodante

Tabla 15 Medición de diámetro interior único del complemento del elemento rodante

Tipo y definición de precisión	
F_{ws} Diámetro interior nominal del complemento del elemento rodante	Distancia entre dos líneas paralelas que están tangentes a la línea de intersección del círculo inscrito del complemento del elemento rodante y el plano radial en rodamiento radial sin aro interior.
$F_{ws\ min}$ Diámetro interior nominal mínimo del complemento del elemento rodante	Diámetro interior nominal mínimo del complemento del elemento rodante en rodamiento radial sin aro interior. Observación El diámetro interior nominal mínimo del complemento del elemento rodante es el diámetro del cilindro cuyo juego radial pasa a ser cero en una dirección radial por lo menos.



Medición de diámetro interior único del complemento del elemento rodante

Fije el calibrador patrón en una placa de superficie.

Coloque el rodamiento sobre el calibrador patrón y aplique el indicador en la dirección radial a aproximadamente el centro de la anchura de la superficie exterior del aro.

Mida el valor de movimiento del aro exterior en dirección radial aplicando carga suficiente sobre el aro exterior en la misma dirección radial que la del indicador y en la dirección radial opuesta.

Anote las indicaciones del indicador en las posiciones radiales extremas del aro exterior. Gire el rodamiento y repita la medición en varias posiciones angulares diferentes para determinar las lecturas más grande y más pequeña, $F_{ws\ max}$ y $F_{ws\ min}$.

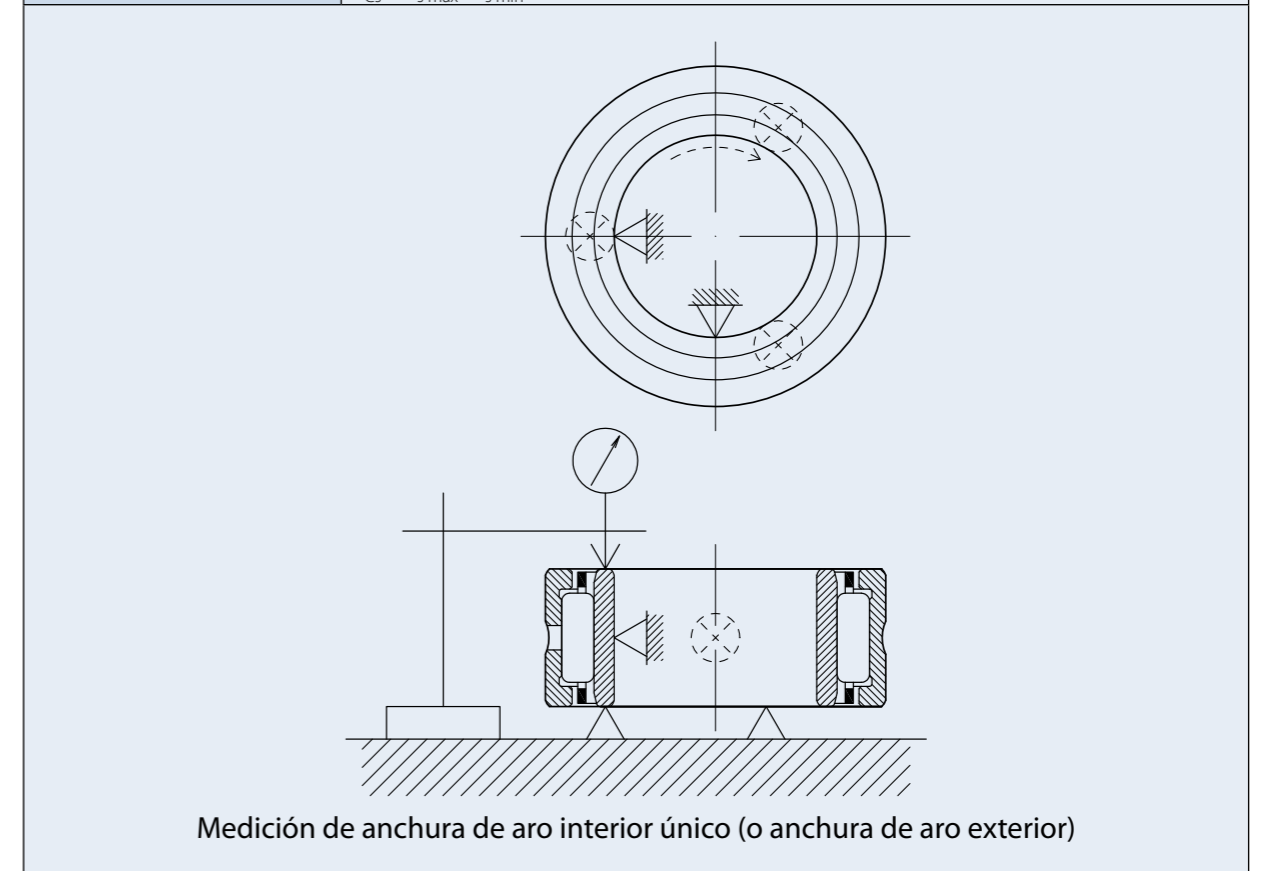
Tabla 16 Carga de medición radial

F_w mm		Carga de medición N
Más de	Incl.	mín.
—	30	50
30	50	60
50	80	70
80	—	80

Medición de anchura de aro interior único (o anchura de aro exterior)

Tabla 17 Medición de anchura de aro interior único (o anchura de aro exterior)

Tipo y definición de precisión	
Δ_{Bs} Desviación de anchura de aro interior único	Diferencia entre la anchura de aro interior único y la anchura de aro interior nominal. $\Delta_{Bs} = B_s - B$
V_{Bs} Variación de anchura de aro interior	Diferencia entre el valor máximo y mínimo de la anchura del diámetro interior único en cada aro interior. $V_{Bs} = B_{s\ max} - B_{s\ min}$
Δ_{Cs} Desviación de anchura de aro exterior único	Diferencia entre la anchura de aro exterior único y la anchura de aro exterior nominal. $\Delta_{Cs} = C_s - C$
V_{Cs} Variación de anchura de aro exterior	Diferencia entre el valor máximo y mínimo de la anchura del aro único en cada aro exterior. $V_{Cs} = C_{s\ max} - C_{s\ min}$



Ponga a cero el indicador del calibrador a la altura apropiada desde la superficie de referencia utilizando bloques de calibrador o un patrón.

Sujete una cara del aro sobre tres soportes fijos igualmente distanciados de la misma altura, y coloque dos soportes radiales apropiados en la superficie interior situados a 90° entre sí con respecto al centro del aro.

Coloque el indicador contra la otra cara del aro opuesta a la fijada al soporte.

Gire el aro una vuelta, y mida y anote la anchura de aro único más grande y más pequeña, $B_{s\ max}$ y $B_{s\ min}$ ($C_{s\ max}$ y $C_{s\ min}$).

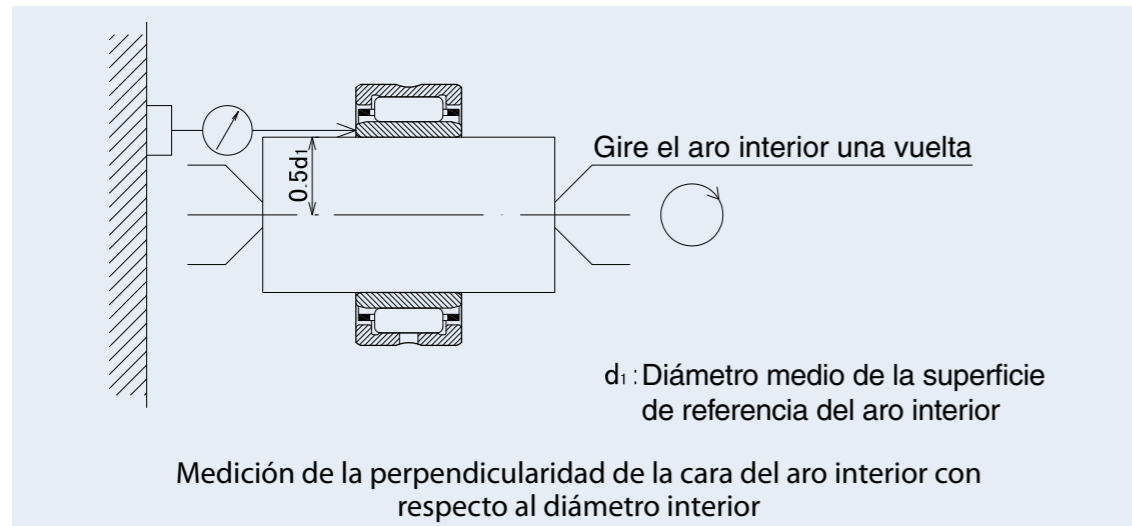
Medición de la perpendicularidad de la cara del aro interior con respecto al diámetro interior (S_d)

Utilice un mandril de precisión que posea una conicidad de aproximadamente 1:5000 en diámetro.

Monte el conjunto del rodamiento en el mandril cónico y coloque el mandril entre dos puntos de forma que pueda girarse con precisión.

Coloque el indicador contra la cara de referencia del aro interior a una distancia radial del eje del mandril de la mitad del diámetro medio de la cara.

Tome lecturas del indicador mientras gire el aro interior una vuelta.

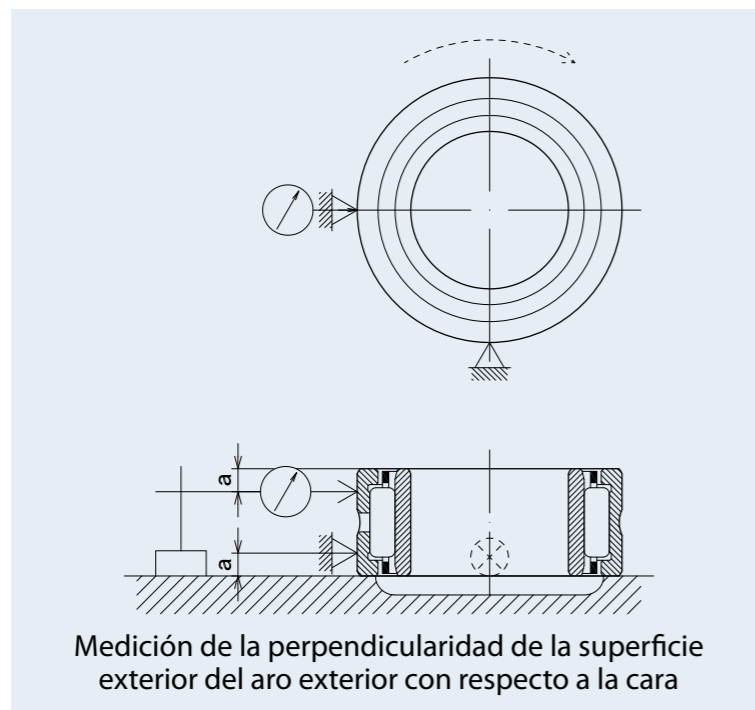


Medición de la perpendicularidad de la superficie exterior del aro exterior con respecto a la cara (S_D)

Sujete la carta de referencia del aro exterior sobre una placa de superficie dejando el aro interior, si es un rodamiento ensamblado, libre. Coloque la superficie exterior cilíndrica del aro exterior contra dos soportes situados a 90° entre sí con respecto al centro del aro exterior.

Coloque el indicador directamente sobre un soporte. El indicador y los dos soportes están axialmente ubicados en los extremos de la zona de medición.

Tome lecturas del indicador mientras gire el aro exterior una vuelta.



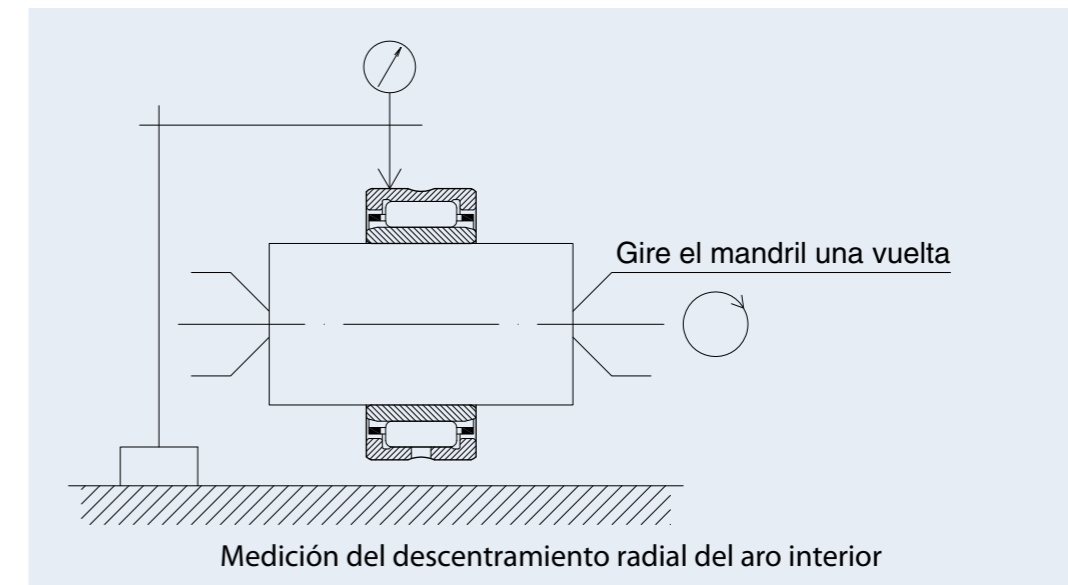
Medición del descentramiento radial del aro interior (K_{ia})

Utilice un mandril de precisión que posea una conicidad de aproximadamente 1:5000 en diámetro.

Monte el conjunto del rodamiento en el mandril cónico y coloque el mandril entre dos puntos de forma que pueda girarse con precisión.

Coloque el indicador contra la superficie exterior del aro exterior lo más cerca posible del centro de la pista de rodadura.

Sujete el aro exterior para evitar que gire pero cerciórese de que su peso esté soportado por los elementos rodantes. Tome lecturas del indicador mientras gire el mandril una vuelta.



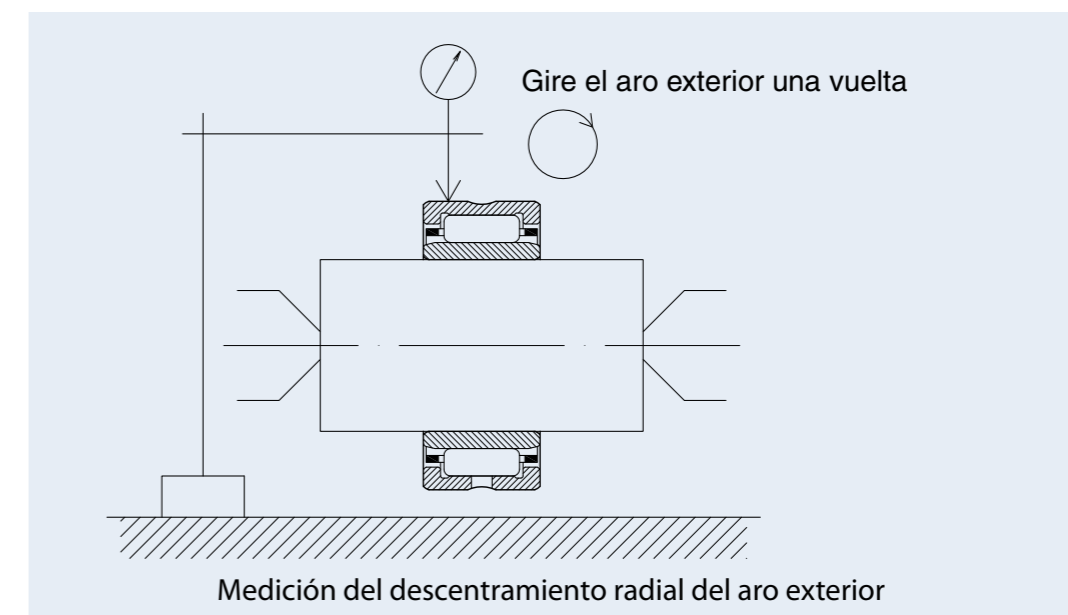
Medición del descentramiento radial del aro exterior (K_{ea})

Utilice un mandril de precisión que posea una conicidad de aproximadamente 1:5000 en diámetro.

Monte el conjunto del rodamiento en el mandril cónico y coloque el mandril entre dos puntos de forma que pueda girarse con precisión.

Coloque el indicador contra la superficie exterior del aro exterior lo más cerca posible del centro de la pista de rodadura.

Sujete el aro interior estacionario. Tome lecturas del indicador mientras gire el aro exterior una vuelta.



4 Juego interno del rodamiento

4-1 Juego radial interno del rodamiento

Juego radial interno del rodamiento significa un desplazamiento del aro interno o del aro externo, el lado que esté libre, cuando se le aplica alternativamente la carga de medición especificada en dirección radial mientras se bloquea el componente opuesto en la condición anterior al montaje del rodamiento en el eje o alojamiento. Estas cargas de medición son bastante pequeñas se especifican en JIS B 1515:2006 (Rodamientos de rodillos – Tolerancias). El juego radial interno del rodamiento de agujas con aro interior se especifica en JIS B 1520:1995 (juego radial interno de rodamientos). Los juegos mostrados en la Tabla 18 se categorizan en los grupos C2, CN, C3, C4, C5 comenzando desde el juego más pequeño, y el grupo CN se utiliza en aplicaciones generales.

■ Juego radial interno del rodamiento

Tabla 18 Juego interno del rodamiento radial

Categoría	Descripción
C2	Juego radial inferior al juego estándar
Juego CN	Juego radial estándar
C3, C4, C5	Juego radial superior al juego estándar

Tabla 19 Valor de juego radial interno del rodamiento de agujas Unidad: μm

d Diámetro interior nominal del rodamiento (mm)		Categoría de juego									
		C2		CN		C3		C4		C5	
Más de	Incl.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.	mín.	máx.
-	10	0	25	20	45	35	60	50	75	-	-
10	24	0	25	20	45	35	60	50	75	65	90
24	30	0	25	20	45	35	60	50	75	70	95
30	40	5	30	25	50	45	70	60	85	80	105
40	50	5	35	30	60	50	80	70	100	95	125
50	65	10	40	40	70	60	90	80	110	110	140
65	80	10	45	40	75	65	100	90	125	130	165
80	100	15	50	50	85	75	110	105	140	155	190
100	120	15	55	50	90	85	125	125	165	180	220
120	140	15	60	60	105	100	145	145	190	200	245
140	160	20	70	70	120	115	165	165	215	225	275
160	180	25	75	75	125	120	170	170	220	250	300
180	200	35	90	90	145	140	195	195	250	275	330
200	225	45	105	105	165	160	220	220	280	305	365
225	250	45	110	110	175	170	235	235	300	330	395

Observación Los números nominales C2, C3, C4 se muestran como sufixo del código de pieza para estos rodamientos (excluyendo el juego CN). Ejemplo) NA 4903 C2

4-2 Selección de juego radial interno del rodamiento

Selección de juego

El juego radial interno del rodamiento de agujas en operación puede ser en general inferior al juego radial interno inicial. La diferencia de temperatura entre el aro interior y el aro exterior durante la operación y el ajuste causan este cambio. El juego radial interno tiene un impacto significativo en la duración, la vibración, y la generación de calor del rodamiento.

Típicamente, un juego radial interno mayor aumenta la vibración y uno menor resulta en generación de calor o reducción de la vida útil debido a fuerza excesiva entre el elemento rodante y la pista de rodadura. El juego radial interno puede seleccionarse como ligeramente superior a juego cero teniendo en cuenta el juego interno durante la operación. El rodamiento se diseña para que tenga el juego radial adecuado seleccionado juego CN para aplicaciones generales.

Reducción del juego radial interno debido a ajustes

Cuando el rodamiento se instala en un eje o alojamiento, el juego radial interno se reduce debido a la expansión o contracción de la pista con la deformación elástica.

Reducción del juego radial debido a la diferencia de temperatura entre el aro interior y el aro exterior

El calor de fricción generado por la rotación del rodamiento se liberará al exterior a través del eje y/o alojamiento. En aplicaciones generales, el juego radial interno puede reducirse tanto como la diferencia de cantidad de expansión térmica entre el aro interior y exterior ya que el aro exterior se enfría más que el interior debido a la mayor liberación de calor desde el alojamiento que desde el eje.

5 Ajustes

5-1 Finalidad de los ajustes

La finalidad de los "ajustes" para un rodamiento es fijar un rodamiento con suficiente "interferencia" entre el aro interior y el eje o entre el aro exterior y el alojamiento. Los "ajustes" insuficientes pueden causar fenómenos perjudiciales que resulten en daño del rodamiento o acortamiento de su vida útil como desgaste anormal en la superficie de ajuste, calor anormal por polvo abrasivo, rotación anormal, y vibración debido al deslizamiento de la superficie de ajuste. Por lo tanto, es de gran importancia seleccionar los ajustes apropiados para la aplicación.

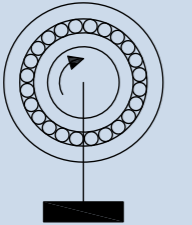
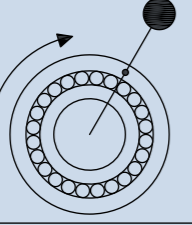
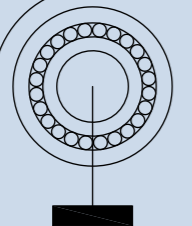
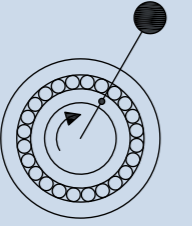
5-2 Selección de ajustes

Condición para la selección de ajustes

Para la selección de "ajustes" del rodamiento será necesario tener en cuenta los puntos siguientes. Propiedades y tamaño de la carga en la aplicación, condición de temperatura, precisión de rotación, material, acabado, grosor de la pared del eje y el alojamiento, y facilidad de montaje/desmontaje.

Los "ajustes" mostrados en la Tabla 20 normalmente se determinan basándose en las propiedades de la carga y la condición de rotación.

Tabla 20 Propiedades de la carga radial y ajustes

Propiedades de la carga del rodamiento		Ajustes		
		Aro interior	Aro exterior	
Carga con aro interior giratorio Carga con aro exterior estacionario		Aro interior: rotación Aro exterior: estacionario Dirección de carga: constante	Ajuste apretado	Ajuste flojo
		Aro interior: estacionario Aro exterior: rotación Dirección de carga: rotación junto con el aro exterior		
Carga con aro exterior giratorio Carga con aro interior estacionario		Aro interior: estacionario Aro exterior: rotación Dirección de carga: constante	Ajuste flojo	Ajuste apretado
		Aro interior: rotación Aro exterior: estacionario Dirección de carga: rotación junto con el aro interior		
Carga en dirección inconsistente	La dirección de la carga es inconsistente debido a dirección de carga variable o inclusión de carga desequilibrada	Aro interior: rotación o estacionario Aro exterior: rotación o estacionario Dirección de carga: inconsistente	Ajuste apretado	Ajuste apretado

Selección de ajustes

Para la selección de "ajustes" como se ha indicado arriba, es necesario tener en cuenta la condición de temperatura, y material del eje y alojamiento además de las propiedades de la carga y la condición de rotación. No obstante, es de práctica común determinar los "ajustes" basándose en la experiencia y registros pasados debido a la dificultad en reconocer todas las condiciones. En la Tabla 21 y la Tabla 22 se muestran "ajustes" para aplicaciones generales, y en la Tabla 23 se muestran "ajustes" para rodamiento de agujas sin aro interior contra eje.

Tabla 21 Ajustes entre el rodamiento de agujas y el orificio del alojamiento

Condiciones		Grado de tolerancia para alojamiento
Carga con aro exterior estacionario	Carga estándar y pesada	J7
	Alojamiento dividido con carga estándar	H7
Carga en dirección inconsistente	Carga ligera	J7
	Carga estándar	K7
	Carga pesada y carga de impacto	M7
Carga con aro exterior giratorio	Carga ligera	M7
	Carga estándar	N7
	Carga pesada y carga de impacto	P7
Carga ligera y precisión de rotación alta		K6

Tabla 22 Ajustes entre el rodamiento de agujas con aro interior y eje

Condiciones		Diámetro del eje (mm)		Grado de tolerancia
		Más de	Incl.	
Carga con aro interior giratorio o carga en dirección inconsistente	Carga ligera	—	50	j5
		50	100	k5
	Carga estándar	—	50	k5
		50	150	m5·m6
Carga pesada y carga de impacto	150~		m6·n6	
	~150		n6·p6	
Carga con aro interior estacionario	Velocidad media a baja, carga ligera	Todas las dimensiones		g6
	Velocidad media a baja, carga estándar o carga pesada			h6
	Con precisión de rotación exacta			h5

Observación Carga ligera $P_r \leq 0.06C_r$, Carga estándar $0.06C_r < P_r \leq 0.12C_r$, Carga pesada $P_r > 0.12C_r$, P_r : Carga radial dinámica equivalente C_r : Capacidad de carga dinámica básica

Tabla 23 Ajustes entre el rodamiento de agujas sin aro interior ni eje

Diámetro nominal del círculo inscrito F_w (mm)		Juego radial interno		
		Juego menor que el juego CN	Juego CN	Juego mayor que el juego CN
Más de	Incl.	Grado de grupo de tolerancia para eje		
-	65	k5	h5	g6
65	80	k5	h5	f6
80	160	k5	g5	f6
160	180	k5	g5	e6
180	200	j5	g5	e6
200	250	j5	f6	e6
250	315	h5	f6	e6

Observación El ajuste apretado con orificio de alojamiento inferior a k7 deberá modificarse con tamaño de eje inferior teniendo en cuenta la contracción del diámetro del círculo inscrito del rodillo después del montaje.

6 Diseño de eje y alojamiento

6-1 Precisión de la superficie de ajuste

El diseño y la fabricación correctos del eje o el alojamiento en el que se monta el rodamiento de agujas son vitales para el rendimiento adecuado del rodamiento porque el rodamiento de agujas tiene un aro de rodadura más fino en comparación con otros tipos de rodamientos de rodillos. En la Tabla 26 se muestra la precisión de dimensiones y la precisión geométrica de la parte de "ajuste" del eje y el alojamiento en condiciones de aplicación estándar, la rugosidad de la superficie y la tolerancia de descentramiento del collarín contra la superficie de ajuste.

Tabla 26 Precisión de eje y alojamiento (recomendada)

Elemento	Eje	Alojamiento
Tolerancia de redondez	IT3~IT4	IT4~IT5
Tolerancia de cilindridad	IT3~IT4	IT4~IT5
Tolerancia de descentramiento del collarín	IT3	IT3~IT4
Rugosidad de la superficie de ajuste	0,8a	1,6a

6-2 Precisión de la superficie de la pista

El rodamiento de agujas puede instalarse directamente en un eje o alojamiento como pista para estructura de rodamiento compacta. En este caso, la precisión y rugosidad de la superficie de la pista deberán ser equivalentes a las de la superficie de la pista del rodamiento a fin de asegurar la duración del rodamiento con gran precisión de rotación, ya que la precisión y rugosidad del eje y el alojamiento pueden afectar la duración y causar anomalía en el rodamiento.

En la Tabla 27 se muestran las especificaciones de precisión y rugosidad de la superficie de la pista.

Tabla 27 Precisión de la superficie de la pista (recomendada)

Elemento	Eje	Alojamiento
Tolerancia de redondez	IT3	IT3
Tolerancia de cilindridad	IT3	IT3
Tolerancia de descentramiento del collarín	IT3	IT3
Rugosidad de superficie	0.2a	

6-3 Material y tratamiento térmico de la superficie de la pista

La rigidez de la superficie del eje y el alojamiento deberá ser HRC58 a 64 a fin de obtener suficiente capacidad de carga en caso de utilizarlos como superficie de pista directa. En la Tabla 28 se muestra el tratamiento térmico recomendado para su material.

Tabla 28 Material para pista

Tipo de acero	Ejemplo representativo	Normas relacionadas
Acero al cromo con alto contenido de carbono para rodamientos	SUJ2	JIS G 4805
Acero al cromo-molibdeno	SCM415~435	JIS G 4053
Acero al carbono para herramientas	SK85	JIS G 4401
Acero inoxidable	SUS440C	JIS G 4303

6-4 Inclinación del rodamiento

La inclinación entre el aro interior y el exterior generada por la deflexión del eje debido a fuerza externa o error de montaje puede resultar en reducción de la vida útil causada por desgaste o calor anormal. Aunque la cantidad permisiva de inclinación varía dependiendo del tipo de rodamiento, la carga y el juego interno del rodamiento, se recomienda que sea de 1/2000 o menos para aplicaciones generales.

6-5 Dimensiones de montaje para rodamiento

Las dimensiones del eje y el alojamiento para rodamiento de agujas (Figura 8) se muestran en la tabla de dimensiones para los rodamientos respectivos.

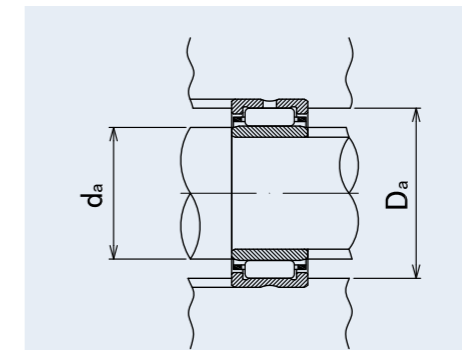


Figura 8 Dimensiones de montaje

Radio de filete y altura del collarín para eje y alojamiento

El radio máximo permisivo ($r_{as\ max}$) del radio de filete para el eje y del alojamiento en el que se montan los rodamientos de agujas corresponde a la dimensión de bisel mínima permisiva ($r_{s\ min}$) de los rodamientos.

El valor mínimo del diámetro del collarín del eje (d_a) deberá ser el diámetro interior nominal (d) del rodamiento más la altura de su collarín (h) multiplicado por 2. El valor máximo del diámetro del collarín del alojamiento (D_a) deberá ser el diámetro exterior (D) del rodamiento menos la altura de su collarín multiplicado por 2.

Tabla 29 Radio real máximo permisivo de la esquina R del eje y alojamiento $r_{as\ max}$ Unidad: mm

$r_{s\ min}$ Dimensión mínima permisiva de bisel	$r_{as\ max}$ Radio real máximo permisivo de la esquina R del eje y alojamiento
0,1	0,1
0,15	0,15
0,2	0,2
0,3	0,3
0,4	0,4
0,6	0,6
1	1
1,1	1
1,5	1,5
2	2
2,1	2
2,5	2
3	2,5
4	3
5	4

Altura del collarín y esquina R

7 Lubricación

Tabla 30 Valor de clase de tolerancia IT para dimensión de referencia Unidad: μm

Dimensión de referencia mm		Clase de tolerancia					
Más de	Incl.	IT2	IT3	IT4	IT5	IT6	IT7
3	6	1,5	2,5	4	5	8	12
6	10	1,5	2,5	4	6	9	15
10	18	2	3	5	8	11	18
18	30	2,5	4	6	9	13	21
30	50	2,5	4	7	11	16	25
50	80	3	5	8	13	19	30
80	120	4	6	10	15	22	35
120	180	5	8	12	18	25	40
180	250	7	10	14	20	29	46
250	315	8	12	16	23	32	52

7-1 Finalidad de la lubricación

La finalidad de la lubricación del rodamiento es evitar el agarrotamiento por calor mitigando la fricción y la abrasión de la superficie rodante y la superficie de deslizamiento. A continuación se ofrece la explicación detallada.

(1) Mitigación de la fricción y la abrasión

Impide el contacto directo entre la pista, el elemento rodante, y la jaula.

También mitiga la fricción y la abrasión como resultado del deslizamiento en la superficie de la pista.

(2) Eliminación del calor por fricción

El lubricante elimina el calor de abrasión del interior del rodamiento o el calor propagado desde el interior para evitar el recalentamiento excesivo del rodamiento.

(3) Prolongación de la vida útil del rodamiento

La separación del elemento rodante y la pista mediante una película de aceite resulta en prolongación de la vida útil del rodamiento.

(4) Prevención de óxido

La película de aceite lubricante mitiga la oxidación del interior y la superficie del rodamiento para evitar la corrosión.

(5) Prevención de polvo

La grasa empacada en la caja de lubricación con grasa impide la entrada de materias extrañas.

El rendimiento eficaz de estos efectos requiere la utilización de un método de lubricación adecuado para la aplicación así como la selección del lubricante apropiado, su cantidad adecuada, prevención contra la entrada de materias extrañas, y estructura de sellado óptima a fin de evitar la fuga de lubricante.

7-2 Comparación de lubricación con grasa y con aceite

Método de lubricación

El método de lubricación del rodamiento consta de lubricación con grasa y lubricación con aceite.

La lubricación con grasa es bastante popular para un amplio tipo de rodamientos porque es económica debido a su estructura sencilla de sellado y período de operación de larga duración con llenado simple. Sin embargo, su desventaja es mayor resistencia a la fluidez que la lubricación con aceite, cuya capacidad de enfriamiento es grande y se utiliza en aplicaciones de alta velocidad.

La lubricación con aceite tiene la ventaja de gran capacidad de enfriamiento y aplicaciones de alta velocidad debido a sus características de buena fluidez. Sin embargo, exige un diseño especial teniendo en cuenta la estructura de sellado y la prevención de fugas. En la Tabla 31 se comparan los dos métodos de lubricación como guía para la selección del método de lubricación.

Tabla 31 Comparación de lubricación con grasa y con aceite

Método de lubricación	Grasa	Aceite
Reemplazo del lubricante	△	○
Rendimiento de lubricación	○	◎
Eficacia de enfriamiento	×	○
Estructura de sellado	○	△
Pérdida de potencia	△	○
Mantenimiento	○	△
Operación de alta velocidad	×	○

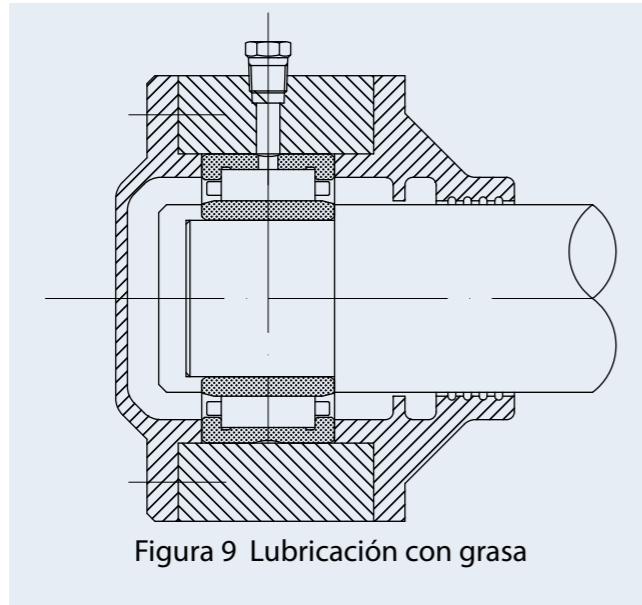
7-3 Lubricación con grasa

Cantidad de llenado de grasa

La grasa deberá empacarse hasta un volumen de aproximadamente un tercio a la mitad del espacio interno del rodamiento o alojamiento. La grasa excesiva puede causar la degradación del rendimiento de lubricación debido a la fuga de la grasa ablandada, o la oxidación como resultado del aumento de la temperatura en el interior del rodamiento. Esto será crítico especialmente en operación de alta velocidad.

En la Figura 9 se muestra un ejemplo de esquema de rellenado de grasa desde un lado utilizando un aro con orificio de engrase.

La disposición de los orificios de engrase uniformemente en la circunferencia del aro permite la entrada simultánea de la grasa de relleno en el rodamiento para reemplazar la grasa antigua por nueva. Sin embargo, este diseño también permite que quede grasa antigua en el espacio del lado opuesto, que necesita retirarse periódicamente quitando la cubierta.



Grasa de lubricación

La grasa es un lubricante semisólido compuesto por aceite de base (agente de lubricación líquido) y un espesante, que se combinan al calentarse.

Tabla 32 Tipo y propiedades de la grasa (referencia)

Nombre	Grasa de litio			Grasa de sodio	Grasa de base de calcio	Grasa de aluminio	Grasa no jabonosa	
Espesante	Jabón de Li			Jabón de Na	Jabón de Ca + Na Jabón de Ca + Li	Jabón de Al	Bentonita, urea, etc.	
Aceite de base	Aceite mineral	Aceite diéster	Aceite de silicio	Aceite mineral	Aceite mineral	Aceite mineral	Aceite mineral	Aceite sintético
Punto de goteo °C	170~190	170~190	200~250	150~180	150~180	70~90	250 o más	250 o más
Temperatura de trabajo °C	-25~+120	-50~+120	-50~+160	-20~+120	-20~+120	-10~+80	-10~+130	-50~+200
Estabilidad mecánica	Buena	Aceptable	Aceptable	Buena~ Aceptable	Buena~ Aceptable	Aceptable~ Deficiente	Aceptable	Aceptable
Resistencia a la presión	Aceptable	Aceptable	Deficiente	Aceptable	Buena~ Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Resistencia al agua	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable~ Deficiente	Aceptable~ Deficiente	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Aplicación	Las más variadas Grasa versátil para rodamientos de rodillos	Excelente en propiedades de baja temperatura, fricción	Adecuada para alta y baja temperatura Inadecuada para carga elevada debido a la baja resistencia de la película de aceite	Sometida a emulsionado por mezcla con agua Propiedades relativamente buenas a alta temperatura	Excelente en resistencia al agua y estabilidad mecánica Adecuada para rodamientos sometidos a vibración	Excelente en viscosidad Adecuada para rodamientos sometidos a vibración	Amplia aplicación desde baja a alta temperatura. Incluye tipos que muestran excelentes propiedades en resistencia a alta y baja temperatura, y a productos químicos mediante la combinación con aceite de base y espesante. Grasa versátil para rodamientos de rodillos	

Observación La gama de temperaturas de trabajo es solamente para propiedades en general y NO para fines de garantía.

1) Aceite de base

El aceite mineral y el aceite mezclado se utilizan para aceite de base de grasa.

El aceite diéster y el aceite de silicona se utilizan como aceite mezclado.

El rendimiento de lubricación depende de la viscosidad del aceite de base y, en general, el aceite de base de baja viscosidad es adecuado para entornos de baja temperatura y aplicaciones de alta velocidad, y la viscosidad alta es para alta temperatura y aplicaciones de gran carga.

2) Espesante

El espesante es un material para mantener la grasa en estado semisólido. El tipo de espesante tiene un fuerte impacto en la temperatura máxima de trabajo, la resistencia al agua, y la estabilidad mecánica.

La base de jabón metálico es muy popular como material espesante. Además, hay espesantes, como el espesante de base de urea con gran resistencia al calor, y el espesante de base de jabón de sodio con mala resistencia al agua debido al emulsionado producido al mezclarse con agua.

3) Consistencia

Consistencia se refiere a la "blandura" de la grasa y se utiliza como guía para mostrar características de fluidez. Cuanto mayor sea el número de penetración de ASTM, más blanda será la grasa. En la Tabla 33 se muestra la relación típica ente la consistencia de la grasa y sus condiciones de operación.

Tabla 33 Consistencia de la grasa y sus condiciones de operación

Núm. de grado NLGI	Penetración de ASTM (1/10 mm)	Condiciones de operación
0	355~385	Lubricación centralizada Aplicación de oscilación
1	310~340	
2	265~295	Aplicación general
3	220~250	Aplicación general, alta temperatura
4	175~205	Aplicación con sellado de grasa

4) Aditivos

Los aditivos son materiales para mejorar el rendimiento de la grasa, que incluyen antioxidantes y aditivos para presión extrema añadidos cuando es necesario. Para utilizar grasa durante un largo período sin necesidad de rellenado se requiere la adición de antioxidantes para evitar la oxidación.

Además, la grasa en condiciones de operación con carga pesada o impactos deberá seleccionarse entre las que tengan agregados aditivos para presión extrema.

5) Mezcla de diferentes tipos de grasas

En principio, no deberán mezclarse grasas de marcas diferentes. La mezcla de diferentes tipos de grasas está sometida al impacto negativo entre ellas debido al cambio de consistencia y a la diferencia de aditivos.

Tabla 34 Marcas de grasas lubricantes (referencia)

Categoría	Marca	Fabricante	Espesante o base de jabón	Consistencia	Punto de goteo °C	Temperatura de trabajo °C	Observación
Finalidad general	Alvania Grease S1	Showa Shell Sekiyu	Jabón de litio	323	180	-35~120	Finalidad general
	Alvania Grease S2	Showa Shell Sekiyu	Jabón de litio	283	181	-25~120	Finalidad general
	Alvania Grease S3	Showa Shell Sekiyu	Jabón de litio	242	182	-20~135	Finalidad general
Amplio margen de temperaturas de trabajo	Fomblin RT-15	Solvay Solexis	PTFE	NO.2	300 o más	-20~250	Alta temperatura
	Fomblin Y-VAC1	Solvay Solexis	PTFE	NO.1	300 o más	-20~250	Alto vacío (suave)
	Fomblin Y-VAC2	Solvay Solexis	PTFE	NO.2	300 o más	-20~250	Alto vacío (normal)
	Fomblin Y-VAC3	Solvay Solexis	PTFE	NO.3	300 o más	-20~250	Alto vacío (rígida)
Baja temperatura	Multemp PS No.2	KYODO YUSHI	Jabón de litio	NO.2	190	-50~130	Baja temperatura
Otros	LOR#101	OIL CENTER RESEARCH	PTFE	295	198	-40~188	Excelente en resistencia a la abrasión, resistencia a la carga, resistencia al agua, y resistencia a productos químicos
	HP300	Dow Corning	PTFE	280	-	-65~250	Resistencia a la carta, resistencia al aceite, resistencia a disolventes, resistencia a productos químicos
	BARRIERTA SUPER IS/V	NOK KLUBER	PTFE	No.2	-	-35~260	Alto vacío
	BARRIER IEL/V	NOK KLUBER	PTFE	No.2	-	-65~200	Alto vacío
	ISO FLEX TOPAS NB 52	NOK KLUBER	Jabón de bario	No.2	240 o más	-50~150	Excelente en resistencia al calor, resistencia a la carga, resistencia al agua, y alta velocidad
	DEMNUM L-200	DAIKIN	PTFE	280	-	-60~300	Estabilidad a alta temperatura
	DEMNUM L-65	DAIKIN	PTFE	280	-	-70~200	Estabilidad a alta temperatura
	G1/3Grease	The Orelube Corporation	Grasa no jabonosa	No.2	-	-23~180	Alta temperatura, carga elevada
	Shell Cassida Grease RLS2	Showa Shell Sekiyu	Complejo de aluminio	No.2	240 o más	-30~120	Excelente en resistencia al agua, estabilidad de oxidación, y estabilidad mecánica
	Super Lube item number 82329	Henkel	PTFE	No.2	-	-42~232	Presión extremada, alta temperatura
Castrol Microcote 296	Castrol	PTFE	No.2	256	-50~204	Estabilidad al calor, baja volatilidad, estabilidad al esfuerzo cortante, alto vacío	

7-4 Lubricación con aceite

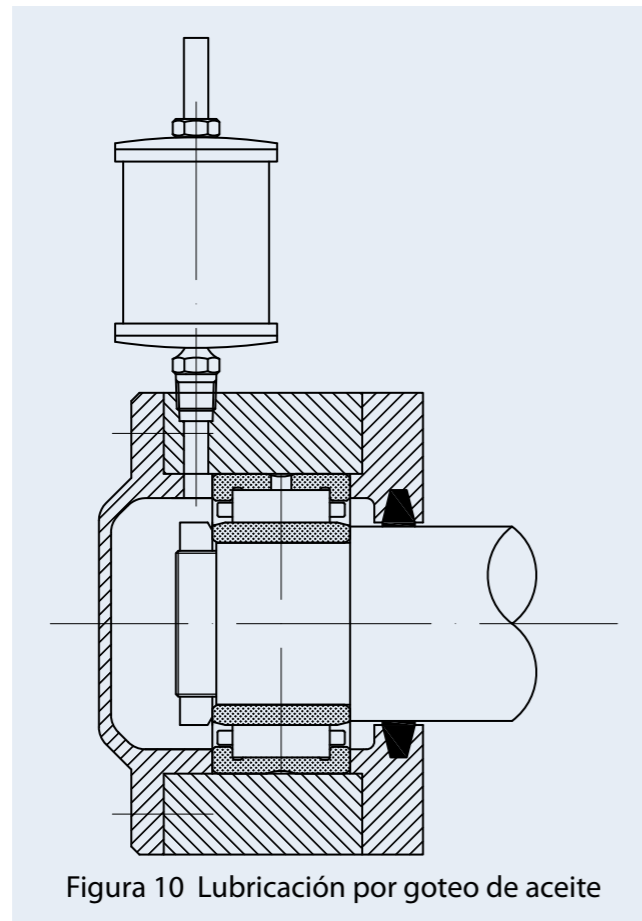
La lubricación con aceite es más adecuada que la grasa para rotación de alta velocidad con excelente eficacia de enfriamiento. Es adecuada para aplicaciones que requieran la emisión al exterior del calor que se genera en el rodamiento o se añade al mismo.

1) Lubricación por baño de aceite

La lubricación por baño de aceite es el método más popular utilizado en velocidades media a baja. La cantidad de aceite necesita controlarse con manómetro de aceite. La cantidad de aceite más apropiada puede ser con el nivel de aceite en el centro del rodillo de agujas más bajo del rodamiento. Es preferible un diseño de alojamiento con poca variación del nivel de aceite.

2) Lubricación por goteo de aceite

La lubricación por goteo de aceite utiliza ampliamente en aplicaciones con alta velocidad y carga media debido a su mejor eficacia de enfriamiento que la lubricación por baño de aceite. El goteo de aceite a través del engrasador elimina el calor de fricción mediante el método de lubricar con niebla de aceite que llena el interior del alojamiento y golpea las piezas giratorias tales como ejes y tuercas. Aunque la cantidad de aceite varía dependiendo del tipo de rodamiento y la velocidad, en general, la cantidad deberá ser de un par de gotas por minuto.

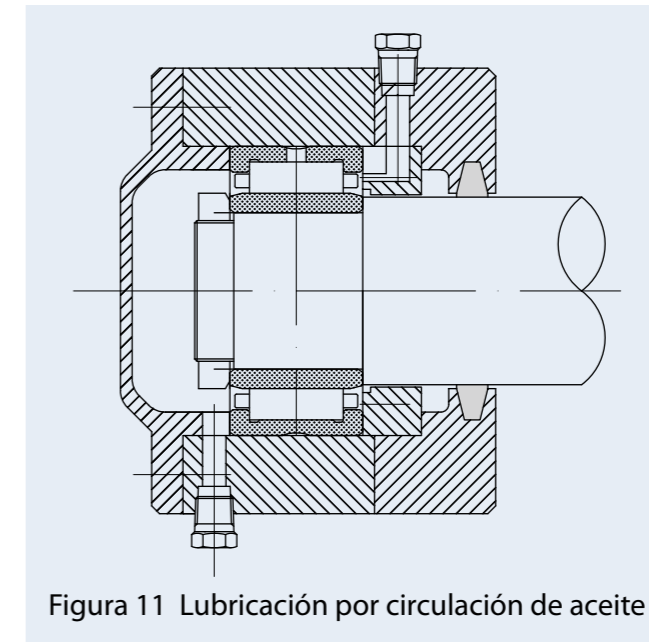


3) Lubricación por salpicadura de aceite

La lubricación por salpicadura de aceite es un método para salpicar aceite con la rotación de un engranaje o disco. A diferencia de la lubricación por baño de aceite, es adecuada para velocidad relativamente más alta sin necesidad de tener el rodamiento sumergido directamente en aceite.

4) Lubricación por circulación de aceite

La lubricación por circulación de aceite se emplea ampliamente en aplicaciones cuya finalidad es la rentabilidad para lubricación automática con gran número de puntos de lubricación, o el enfriamiento de rodamientos. Este método de lubricación permite enfriar y mantener la limpieza del lubricante con un enfriador de aceite y filtros instalados en el sistema de circulación del aceite. Como se muestra en la Figura 11, para asegurarse de que el aceite de lubricación se drene efectivamente, es muy importante que el conducto de salida sea lo más grande posible, o que se realice la salida forzada, estableciendo la entrada y la salida del aceite de lubricación en lados opuestos del rodamiento.



Aceite lubricante

Como aceite de lubricación para rodamientos se utiliza aceite mineral muy refinado, como aceite de mandril, aceite de máquina, o aceite de turbina, o aceite mezclado. De acuerdo con la aplicación, si es necesario, utilizan selectivamente aditivos tales como antioxidantes, aditivos para presión extrema, o depurantes.

Es importante seleccionar aceite con la viscosidad apropiada para la temperatura de operación. Una viscosidad demasiado baja causará insuficiente formación de película de aceite lo que resultará en abrasión o agarrotamiento por calor. Una viscosidad demasiado alta causará la generación de calor o la pérdida de potencia debido a la resistencia de viscosidad. En general, el aceite con mayor viscosidad se utiliza para cargas mayores, y el de menor viscosidad para velocidades más altas.

8 Manipulación de rodamientos

8-1 Precauciones

Los rodamientos son componentes mecánicos extremadamente precisos. Tenga mucho cuidado en su manipulación. A continuación se ofrecen las precauciones para la manipulación.

1) Mantenga los rodamientos y sus alrededores limpios

Las materias extrañas que entran en los rodamientos, como polvo o suciedad, tienen un efecto perjudicial en la rotación o la duración de operación de los rodamientos. Tenga especial cuidado en mantener la limpieza del rodamiento, los componentes que lo rodean, las herramientas de trabajo, los lubricantes, los aceites de lubricación, y el entorno de trabajo.

2) Maneje los rodamientos con cuidado

Los golpes, como los causados al dejar caer un rodamiento, pueden resultar en daños o impresiones en la pista de rodadura o los elementos rodantes. Como esto puede ser la causa de averías, manipule cuidadosamente los rodamientos.

3) Utilice las herramientas de trabajo apropiadas

Cerórese de utilizar apropiadamente las herramientas de trabajo para el tipo de rodamiento cuando lo ensamble o desensamble.

4) Preste atención al óxido

Aunque se aplique aceite antioxidante a los rodamientos, la manipulación con las manos desnudas puede causar la generación de óxido debido a la transpiración de las manos. Tenga cuidado y utilice guantes, o aplique aceite mineral a las manos cuando manipule los rodamientos con las manos desnudas.

8-2 Montaje

Preparativos

Los rodamientos deberán montarse en un entorno limpio y seco. La suciedad en las herramientas de montaje deberá eliminarse antes del trabajo de montaje, y después habrá que verificar si la precisión de las dimensiones, la precisión geométrica, y la rugosidad del eje y el alojamiento están dentro de la tolerancia designada.

El embalaje de los rodamientos deberá abrirse justamente antes de iniciar el montaje. En caso de lubricación con grasa, llene grasa de lubricación sin lavar los rodamientos. Para la lubricación con aceite, normalmente tampoco será necesario lavar los rodamientos. En caso de una aplicación que exija gran precisión o cuando pueda degradarse la función de lubricación debido a la mezcla de lubricantes y agentes antioxidantes, se recomienda lavar a fondo el aceite y la grasa de los rodamientos.

Método de montaje

1) Ajuste a presión

Para montar rodamientos de tamaño pequeño a mediano que no necesitan grandes fuerzas, se utiliza ampliamente el ajuste a presión a temperatura ambiental. En este caso, utilice in dispositivo de prensado como se muestra en la Figura 12 para aplicar uniformemente fuerza a cada lado del rodamiento y presiónelo cuidadosamente. La aplicación de aceite de alta viscosidad a la superficie de ajuste durante el trabajo puede reducir la fricción en la superficie.

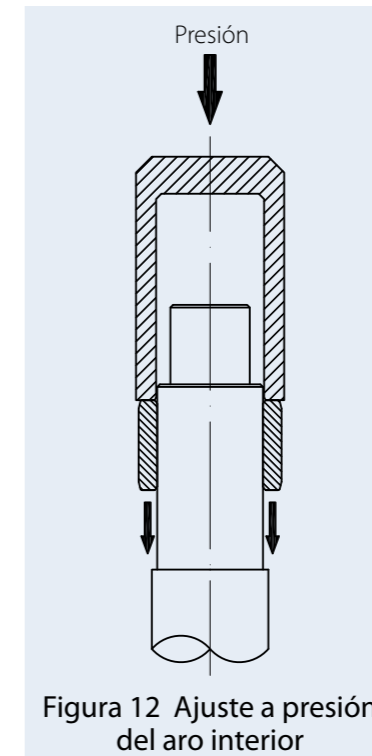


Figura 12 Ajuste a presión del aro interior

2) Ajuste por contracción

El ajuste por contracción se utiliza ampliamente para montar rodamientos de gran interferencia o de tamaño grande. La forma de ajuste es calentar el alojamiento para el aro exterior y el aro interior para el eje respectivamente con aceite mineral puro con poca corrosividad para dilatar su diámetro interior a fin de montarlo en el eje. La temperatura de calentamiento no deberá superar 120° C. Durante el montaje, el aro interior puede dilatarse en dirección del eje por lo que necesita presionarse contra el collarín hasta que finalice el enfriamiento para evitar la holgura entre el aro interior y el collarín.

8-3 Inspección de la operación

Después del montaje habrá que inspeccionar la operación para confirmar que los rodamientos hayan quedado adecuadamente montados. La operación de potencia a una velocidad dada sin inspección de la operación puede resultar en daños del rodamiento o el agarrotamiento por calor debido al fallo de lubricación en el caso de que el montaje sea insuficiente. El eje o el alojamiento deberán girarse con la mano después del montaje para confirmar que no haya anomalías, y después habrá que comprobar (o inspeccionar) si hay anomalía en el aumento de velocidad desde el estado sin carga, operación a baja velocidad, y aumento hasta operación con carga completa. A continuación se ofrecen los puntos anormales típicos y las causas principales que pueden comprobarse en la inspección de la operación.

1) Puntos de comprobación en operación con la mano

- Fluctuación en el par de rotación, Montaje insuficiente
- Agarrotamientos y ruido anormal, Impresión, daño, entrada de suciedad o materias extrañas en la superficie de la pista
- Par excesivo, Juego insuficientemente pequeño

2) Puntos de comprobación en operación con potencia

- Ruido anormal, vibración ··· Impresión, entrada de suciedad o materias extrañas en la superficie de la pista de rodadura, juego excesivo
- Temperatura anormal ····· Lubricación insuficiente, montaje insuficiente, juego insuficientemente pequeño

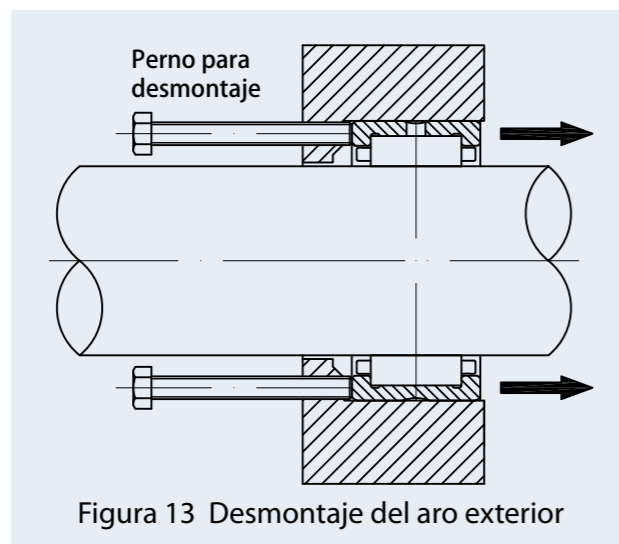
8-4 Extracción

El rodamiento podrá desmontarse para mantenimiento periódico de la máquina o para reparar averías. El rodamiento y otros componentes deberán desmontarse cuidadosamente de la misma forma que en el montaje en el caso de volver a utilizarlos, o para comprobar una condición de avería.

El desmontaje de los rodamientos deberá realizarse de forma apropiada de acuerdo con el tipo de rodamiento y la condición de los ajustes. En la etapa de planificación de la construcción alrededor del rodamiento, en el diseño de la estructura habrá que tener en cuenta el trabajo de desmontaje, ya que podría resultar difícil desmontar especialmente en un rodamiento con ajuste apretado.

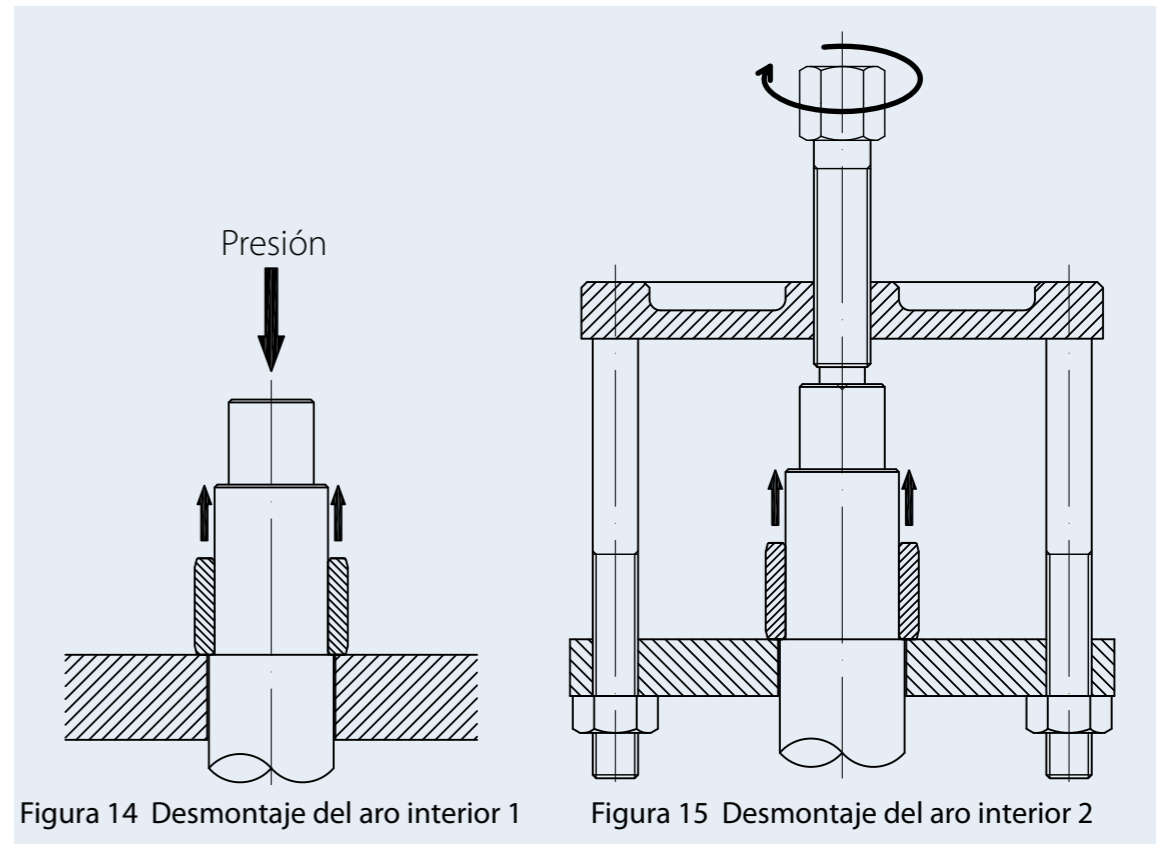
Extracción del aro exterior

La instalación de pernos para desmontar el aro exterior en varios lugares de la circunferencia del alojamiento permitirá extraer fácilmente el aro exterior ensamblado con ajustes apretados apretando uniformemente los pernos como se muestra en la Figura 13.



Desmontaje del aro interior

El desmontaje del aro interior podrá realizarse con mayor facilidad tirando hacia fuera mediante presión (Figura 14). También podrá utilizarse una herramienta de extracción especialmente diseñada (Figura 15) de acuerdo con las dimensiones del rodamiento.



8-5 Mantenimiento e inspección

El mantenimiento y la inspección periódicos son esenciales para aumentar al máximo el rendimiento y prolongar la duración de utilización de los rodamientos así como para descubrir a tiempo anomalías en los mismos. Los elementos de inspección de rodamientos en operación incluyen la temperatura, el sonido de operación, la vibración de los rodamientos, y las condiciones del lubricante, cuya observación permitirá juzgar cuándo rellenar lubricante y reemplazar componentes.