



• Mantenimiento • Fallas • Designaciones •

MANUAL DE RODAMIENTOS



JTEKT

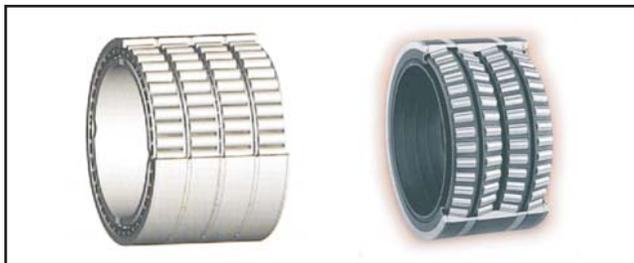
JTEKT GROUP



Koyo® Rodamientos automotrices



Koyo® Rodamientos equipo pesado

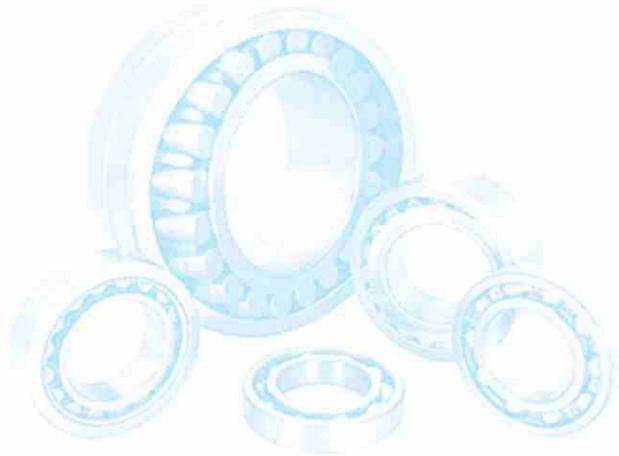


Koyo® Rodamientos industriales



Koyo® Rodamientos agrícolas





INTRODUCCIÓN

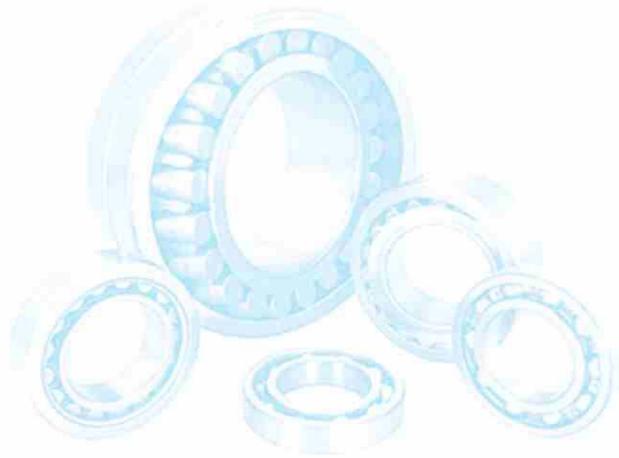
El rodamiento es el mecanismo central en la mayoría de los equipos industriales y automotrices. Una falla prematura de su funcionamiento, aparte del daño de la maquinaria donde está instalado, puede ocasionar grandes pérdidas de producción y hasta serios accidentes industriales.

Normalmente los rodamientos se ven afectados por condiciones de: lubricación, contaminación, desalineación, desbalance, ajustes y otras variables mecánicas relacionadas al montaje y desmontaje (para el caso de los rodamientos que reciben mantenimiento periódico).

Desde el principio del proceso de mantenimiento, la debida selección del tipo de rodamiento, el adecuado manejo y almacenamiento pueden iniciarnos en el camino correcto para obtener el máximo rendimiento de estos elementos de máquinas que son de gran precisión.

Actualmente el control del estado de funcionamiento de un rodamiento sirve de gran ayuda para poder determinar cuando se requiere un recambio; de esta manera se procura evitar costosos períodos de parada de las maquinarias.

Por todo lo expuesto, es clara la importancia de manejar adecuadamente la información y dominar conceptos básicos para un buen mantenimiento de los rodamientos.



ÍNDICE

MANUAL DE RODAMIENTOS

1. Selección del tamaño del rodamiento	1
1.1 Vida y capacidad de carga del rodamiento	1
1.2 Capacidad de carga dinámica básica	1
1.3 Fórmula de cálculo de vida	1
1.4 Ajuste de la capacidad de carga dinámica básica.....	2
1.5 Capacidad de carga estática básica	2
1.6 Carga dinámica equivalente	4
1.7 Carga estática equivalente y factor de seguridad	5
1.8 Vida de servicio para diversas aplicaciones	6
1.9 Dimensiones principales y denominación del rodamiento.....	7
1.9.1 Dimensiones principales del rodamiento	7
1.9.2 Comparación de las series de dimensión	8
1.9.3 Sistema de numeración y códigos	9
2. Tolerancia de los rodamientos	10
2.1 Precisión de dimensiones principales	10
2.2 Precisión de giro	10
2.3 Cuadro 7 - Aplicación de rodamientos de alta precisión.....	11
3. Manejo de los rodamientos	12
3.1 Instrucciones generales	12
3.2 Almacenamiento de rodamientos	12
4. Mantenimiento e inspección de los rodamientos	13
4.1 Limpieza	13
4.2 Inspección y análisis	13
5. Métodos de análisis de fallas en los rodamientos	14
5.1 Detección del ruido	14
5.2 Medición de la temperatura de operación (termografía)	14
5.3 Análisis del estado del lubricante (ferrografía)	14
6. Sistema Koyo de diagnóstico de anomalías en los rodamientos	15
Sistema AE (emisión acústica)	15
7. Lubricación de los rodamientos	16
7.1 Función del lubricante	16
7.2 Cuadro 8 - Comparación entre grasas y aceites lubricantes	16

8. Lubricación con grasa	17
8.1 Cantidad de grasa	17
8.2 Relubricación con grasa	18
8.3 Intervalos de reengrase	19
8.4 Vida de la grasa en los rodamientos de bolas sellados/obturados (prelubricados)	20
8.5 Componentes de las grasas	20
8.6 Consistencia	21
8.7 Mezclado de diferentes tipos de grasas	21
9. Lubricación por aceite	22
9.1 Selección del aceite lubricante	22
9.2 Sistemas de lubricación por aceite	22
9.3 Tipos y métodos de lubricación por aceite	22
9.4 Caudal de aceite requerido en los sistemas de lubricación	25
10. Precarga de los rodamientos	26
10.1 Propósito de la precarga	26
10.2 Métodos de precarga de los rodamientos	26
10.3 Magnitud de la precarga	27
11. Montaje de los rodamientos	28
11.1 Preparación de los rodamientos	28
11.2 Inspección de ejes y alojamientos	28
11.3 Ajuste de interferencia (o presión) en rodamientos con agujero cilíndrico	29
11.4 Ajustes de contracción para rodamientos con agujero cilíndrico	30
11.5 Fig. 11-1 - Temperaturas de calentamiento para diferentes ajustes del anillo interno	31
11.6 Montaje en los alojamientos	31
11.7 Fuerza necesaria para ajuste con Interferencia y desmontaje de los rodamientos	32
11.8 Cuadro 14 - Montaje de rodamientos con agujero cónico	33
11.9 Cuadro 15 - Montaje de rodamientos de rodillos esféricos con agujero cónico	34
11.10 Cuadro 16 - Tipos de ruidos en los rodamientos	35
11.11 Cuadro 17 - Causas y contramedidas para un incremento anormal de la temperatura	36
12. Desmontaje de los rodamientos	37
12.1 Cuadro 18 - Desmontaje de rodamientos con agujero cilíndrico	37
12.2 Cuadro 19 - Desmontaje de rodamientos con agujero cónico	38
12.3 Cuadro 20 - Desmontaje de anillos exteriores	39
13. Juego interno de los rodamientos	40
13.1 Definición	40
13.2 Selección del juego interno	46
14. Ajustes de los rodamientos	47
14.1 Propósito del ajuste	47
14.2 Tolerancias y ajustes para ejes y alojamientos	47
14.3 Relación entre tolerancias y ajustes	47
14.4 Selección del ajuste	47
15. Prácticas de ajustes automotrices –probadas en campo– según aplicaciones	50
Selección de materiales de obturaciones	54
Requerimientos de funcionamiento	55
Grasas para rodamientos Koyo	56
Frecuencias de reengrase para rodamientos	64

FALLAS EN LOS RODAMIENTOS (causas, contramedidas)	65
I. Rotura (fractura) de los rodamientos	65
1. Fase de rotura y sus causas	65
II. Averías de los rodamientos	66
2. Tipos de averías y partes en las que éstas ocurren	66
3. Tabla 3.2 - Averías y causas	67
III. Averías, causas y contramedidas	69
1. Desconches, picaduras	69
2. Desgaste y corrosión de contacto	70
3. Grietas y despostilladuras (astilladuras)	71
4. Brinelado y marcas por golpe (muescas)	72
5. Rayaduras (arañazos) y desgaste abrasivo	73
6. Óxido y corrosión	74
7. Piel de pera, decoloración	75
8. Microadherencia	76
9. Deslizamiento	77
10. Picadura eléctrica	78
11. Gripado (agarrotamiento)	79
12. Daño en la jaula	80
ANEXO - DESIGNACIONES SUPLEMENTARIAS (prefijos y/o sufijos)	81
Designación de rodamientos, según normas ISO	82
Sistema de designación de rodamientos de rodillos cónicos en pulgadas, según normas ABMA	83
Rodamientos rígidos de bolas de una hilera - serie métrica (aplicaciones automotrices)	94
Rodamientos de rodillos cónicos - serie milimétrica / norma ISO - Koyo	95
Rodamientos de rodillos cónicos - serie pulgadas / norma ABMA - Koyo	95
Equivalencias más comunes con prefijos y sufijos de marcas japonesas	96
Equivalencias más comunes con sufijos de marcas europeas	98



1. SELECCIÓN DEL TAMAÑO DEL RODAMIENTO

1.1 Vida y Capacidad de Carga del Rodamiento

1.1.1 Generalidades

Si un rodamiento trabaja en condiciones ideales, su vida útil generalmente llega a su fin por daños causados por la fatiga, que se produce, bien en los caminos de rodadura o en los elementos rodantes, debido a los ciclos de tensión repetidos que actúan sobre éstos. Por lo tanto la "vida" del rodamiento generalmente viene referida al número de revoluciones (o de horas a velocidad constante) que superará el rodamiento antes que aparezca la primera manifestación de fatiga en cualquiera de los caminos de rodadura o cualquiera de los elementos rodantes. Si se ensaya en un grupo de rodamientos de idénticas dimensiones diseño, material y proceso de fabricación, en condiciones de trabajo idénticas se observará una dispersión considerable entre sus vidas. La dispersión de la vida de fatiga puede atribuirse a variaciones en la fatiga del material, que pertenecen esencialmente a un estudio estadístico.

Por lo tanto la vida del rodamiento se expresa generalmente o se compara en cuanto a "vida nominal", que se define como el número de revoluciones (o de horas a velocidad constante) que superará el 90% de un grupo de estos rodamientos, antes que la fatiga del material produzca daños en cualquiera de los caminos de rodadura o cualquiera de los elementos rodantes. Sin embargo en el uso práctico el rodamiento puede quedar fuera de servicio debido a daños no atribuibles a la fatiga, como son exceso de desgaste, sobrecalentamiento, deslizamiento, corrosión de ajuste, brinelado o fisuras. Estos daños se pueden evitar si se toman las precauciones necesarias a la hora de efectuar la selección del rodamiento, y los métodos para su instalación, lubricación, etc.

1.2 Capacidad de Carga Dinámica Básica

(1) Capacidad de Carga Dinámica Básica, C

La capacidad de carga dinámica básica se define como una carga constante, puramente radial (o carga puramente axial para un rodamiento axial), que un grupo de rodamientos aparentemente idénticos con anillo interior girando y anillo exterior fijo puede soportar durante una vida nominal de un millón de revoluciones.

En el caso de los rodamientos de bolas de contacto angular, la capacidad de carga dinámica radial básica es la componente radial de la carga que produce un desplazamiento puramente radial de los anillos del rodamiento entre sí.

(2) Capacidad de Carga Dinámica Efectiva, C_e

Durante los últimos años, se han incrementado el funcionamiento y la fiabilidad de los rodamientos, gracias a mejoras en los materiales de los rodamientos así como en la tecnología de su fabricación, dando lugar a un incremento de la vida de éstos durante el servicio real, demostrado por experimentos e informes de campo.

Para poder reflejar el efecto de este aumento de vida de trabajo en el cálculo de la vida del rodamiento, se ha introducido la capacidad de carga dinámica efectiva, que es una versión revisada de la capacidad de carga dinámica básica antes mencionada.

Koyo indica la capacidad de carga dinámica básica de cada rodamiento en el catálogo de dimensiones.

1.3 Fórmula de Cálculo de Vida

En general, la relación que hay entre la capacidad de carga dinámica básica, la carga aplicada y la vida nominal del rodamiento se expresa por la fórmula siguiente:

$$L_{10e} = \left(\frac{C_e}{P}\right)^p \dots\dots\dots (1)$$

Siendo,

- L_{10e} = Vida nominal efectiva (x 10⁶ revoluciones)
- C_e = Capacidad de carga dinámica básica efectiva (N)
- P = Carga radial (o axial) equivalente (N)
- $p = 3$ para rodamientos de bolas
- $p = 10/3$ para rodamientos de rodillos

En caso de que el rodamiento trabaje a velocidad constante, a menudo resulta conveniente expresar su vida en horas, la cual se puede determinar por la fórmula siguiente:

$$L_h = \left(\frac{C_e}{P}\right)^p \frac{16667}{n} \dots\dots\dots (2)$$

Siendo,

- L_h = Vida en horas (h)
- n = Número de revoluciones por minuto (rpm)

El cálculo de vida se puede simplificar más, utilizando el factor de vida (f_h) y el factor de velocidad (f_n), que están tabulados en los Cuadros 3-1 y 3-2 del Cat. N° 2011S - Sección de Ingeniería de Koyo.

$$L_h = 500 \cdot f_h^p \dots\dots\dots (3)$$

$$f_h = f_n \frac{C_e}{P} \dots\dots\dots (4)$$

$$f_n = \left(\frac{33.3}{n}\right)^{1/p} \dots\dots\dots (5)$$

Siendo

- f_h = Factor de duración
- f_n = Factor de velocidad

1.4 Ajuste de la Capacidad de Carga Dinámica Básica.

a) Ajustes del Cálculo de Vida

La vida nominal efectiva (L_{10e}) que es estándar general para la vida de los rodamientos, puede obtenerse mediante la Fórmula (1).

Si es deseable conocer la vida con una fiabilidad superior al 90%, o en el caso de condiciones especiales de material y trabajo (montaje, lubricación, protección contra el polvo, temperatura de trabajo), la vida se puede ajustar mediante la utilización del factor de fiabilidad (a_1), factor de material (a_2) y factor de condiciones de trabajo (a_3). En este caso, la vida nominal ajustada (L_{na}) puede conocerse a partir de la fórmula siguiente:

$$L_{na} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C_e}{P}\right)^p \dots\dots\dots (6)$$

Siendo,

- L_{na} = Vida nominal ajustada para un nivel de fiabilidad de (100-n) % (x 10⁶ revoluciones)
- C_e = Capacidad de carga dinámica básica efectiva (N)
- P = Carga dinámica equivalente (N)
- a_1 = Factor de fiabilidad (Ver cuadro 1)
- a_2 = Factor de material
- a_3 = Factor de condiciones de trabajo
- $p = 3$ para rodamiento de bolas
- $p = 10/3$ para rodamiento de rodillos

• Factor de Fiabilidad a_1

La vida nominal obtenida mediante la fórmula (1) se basa en una fiabilidad del 90%, es decir la vida que alcancen o superen el 90% de un grupo de rodamientos aparentemente idénticos, en condiciones de trabajo similares. No obstante, en algunas aplicaciones es necesario evaluar la vida del rodamiento con una fiabilidad superior al 90%. En estas aplicaciones suele determinarse la vida del rodamiento mediante la fórmula (6), utilizando el factor a_1 de fiabilidad específica, indicado en el Cuadro 1.



Cuadro 1 Factor de Fiabilidad, a_1

Fiabilidad %	L_{na}	a_1
90	L_{10}	1.00
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

- **Factor de Material, a_2**

Cuando se aumenta la vida de fatiga rodante mediante la utilización de materiales mejorados o de un tratamiento térmico especial, entonces debe ajustarse la vida nominal mediante el factor de material a_2 .

Cuando se utiliza un rodamiento estándar **Koyo**, el factor de material apropiado es $a_2=1$

Los rodamientos estándares **Koyo** están fabricados con acero desgasificado al vacío, de alta calidad. El efecto de aumento de vida que tiene este material se refleja en la capacidad de carga dinámica efectiva.

En los rodamientos **Koyo** fabricados con aceros para rodamientos de vida extra, desarrollados para el efecto específico de aumentar la vida de los rodamientos, se pueden aplicar valores de a_2 superiores a 1.

Cuando un rodamiento se somete a un tratamiento térmico especial para conseguir estabilidad dimensional a alta temperatura, entonces disminuye su dureza. En estos casos el factor a_2 debe ser inferior a 1.

- **Factor de Condiciones de Trabajo a_3**

Este factor a_3 se utiliza para tener en cuenta el efecto que tienen las condiciones de trabajo, especialmente la lubricación, en la vida del rodamiento. Si el rodamiento está lubricado adecuadamente (o si las superficie rodantes están aisladas por una película de aceite), entonces $a_3=1$.

El factor a_3 debería ser inferior a 1 si la viscosidad del lubricante es baja o si la velocidad de trabajo es excepcionalmente

lenta (dm. n inferior a 10000). En estos casos, el factor de condiciones de trabajo a_3 no debe ser superior a a_1 .

Hay otras condiciones de trabajo distintas a la lubricación, tales como la distribución de cargas y la temperatura, que también pueden afectar a la vida del rodamiento. Sin embargo estas consideraciones requieren unas técnicas analíticas y experimentales, para cuyo caso debe consultarse al servicio de ingeniería de **Koyo** si las condiciones de trabajo entrañan distribuciones de carga especiales o temperaturas extremas.

- b) **Ajuste de la Capacidad de Carga Dinámica Básica**

La vida nominal de un rodamiento se ve afectada considerablemente por la temperatura de trabajo y la dureza del rodamiento. Por lo tanto, cuando el rodamiento se utiliza a una temperatura extrema o cuando sea necesario que la dureza del rodamiento sea inferior a la normal, será necesario corregir la capacidad de carga dinámica.

- **Temperatura del Rodamiento y Capacidad de Carga Dinámica Básica**

Cuando los rodamientos se someten a altas temperaturas, entonces cambia la microestructura del material, reduciéndose la dureza, lo cual afectará a la capacidad de carga dinámica básica. Una vez que haya disminuido la capacidad de carga dinámica básica en estas condiciones, no se podrá restablecer la capacidad de carga que ha disminuido, incluso si la temperatura vuelve a estar dentro de sus límites normales. El Cuadro 2 indica la magnitud de reducción de la capacidad de carga dinámica básica.

Cuadro 2 Reducción de la Capacidad de Carga Dinámica Básica a alta Temperatura

Temperatura del rodamiento (°C)	125	150	175	200	225	250
Porcentaje de reducción de la capacidad de carga dinámica básica (%)	5	10	15	25	35	40

• **Dureza y Capacidad de Carga Dinámica Básica**

Cuando se utiliza como camino de rodadura sobre el que ruedan los elementos rodantes, la superficie de un eje o de una caja, en lugar de un anillo interior o un anillo exterior, es esencial que el eje o el alojamiento tengan la dureza adecuada, ya que cuanto menor sea la dureza, tanto más corta será la vida de servicio. Por lo tanto cuando la dureza de estas superficies es inferior a 60 HRC, entonces debe corregirse la capacidad de carga utilizando el factor de dureza indicado en la fig. 1-1

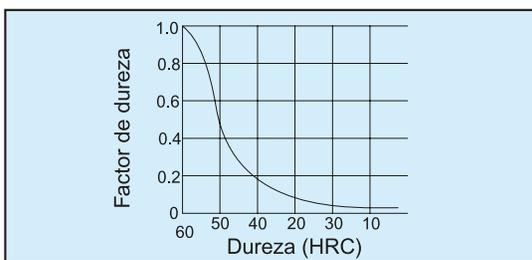


FIG. 1-1 Factor de dureza

1.5 Capacidad de Carga Estática Básica

La capacidad de carga estática básica es la carga que actúa sobre un rodamiento que no está girando y puede considerarse que corresponde a una tensión de contacto calculada de.

- 4600 MPa para rodamientos de bolas autoalineables
- 4200 MPa para todos los demás rodamientos de bolas, y
- 4000 MPa para todos los rodamientos de rodillos.

en el centro del contacto entre los elementos rodantes sometidos a mayor tensión, y los caminos de rodadura.

Para los rodamientos radiales, esta carga es una carga radial constante estacionaria, y para los rodamientos axiales es una carga axial constante estacionaria, concéntrica con el eje del rodamiento.

En el caso de rodamientos de bolas de contacto angular de una hilera, la capacidad de carga básica se refiere a la componente

radial de la carga que produce un desplazamiento puramente radial de los anillos del rodamiento entre sí.

1.6 Carga Dinámica Equivalente

Los rodamientos a menudo trabajan sometidos tanto a cargas radiales como a cargas axiales formándose una carga combinada que no se puede comparar directamente con la capacidad de carga básica que figura en el catálogo. En estos casos es posible efectuar una comparación convirtiendo la carga combinada en una carga imaginaria, bajo la cual el rodamiento tendría la misma vida que la prevista, en las condiciones de carga reales, siempre y cuando en los anillos (interior o exterior) sea la misma.

Esta carga imaginaria se llama carga dinámica equivalente. Para los rodamientos radiales, es una carga radial constante que actúa sobre un rodamiento con anillo interior rotativo y anillo exterior fijo. Para los rodamientos axiales, es una carga axial constante concéntrica con el eje del rodamiento para un rodamiento con anillo interior rotativo y anillo exterior fijo.

a) Carga Radial Dinámica Equivalente.

La carga radial dinámica equivalente de un rodamiento sometido a cargas radiales y axiales constantes simultáneas puede obtenerse de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$P = X F_r + Y F_a \dots\dots\dots (7)$$

Siendo,

- P = Carga radial dinámica equivalente (N)
- X = Factor radial Y = Factor axial
- F_r = Carga radial (N) F_a = Carga axial (N)

Para rodamientos de una hilera, y cuando la relación F_a / F_r no es superior al valor "e", entonces los valores de los factores X e Y son respectivamente 1 y 0. En estos casos, la carga radial dinámica equivalente puede expresarse por la fórmula siguiente:



$$P = F_r \dots\dots\dots (8)$$

En el caso de rodamientos rígidos de bolas, los valores de los factores X e Y dependen de la relación F_a / C_o si F_r es superior a "e". Esto se debe a que el ángulo de contacto entre la bola y el camino de rodadura varía según la carga axial F_a . Los valores para X e Y, para rodamientos de dos hileras dependen de si la relación F_a / F_r sea superior al valor "e". Estos valores X e Y se indican para cada rodamiento en las tablas de dimensiones.

Los rodamientos de bolas de contacto angular y los rodamientos de rodillos cónicos generalmente van montados por parejas, cara con cara o espalda con espalda. En estos casos, la fuerza axial producida en un rodamiento por la carga radial actúa sobre el otro rodamiento, lo cual debe tenerse en cuenta en el cálculo. Esta carga axial puede calcularse en la fórmula siguiente:

$$F_a = \frac{F_r}{2Y} \dots\dots\dots (9)$$

b) Carga Axial Dinámica Equivalente
 Cuando un rodamiento axial, cuyo ángulo de contacto nominal sea inferior a 90°, está sometido a unas cargas combinadas radiales y axiales constantes, entonces puede calcularse su carga axial dinámica equivalente, mediante la fórmula siguiente:

$$P_a = X F_r + Y F_a \dots\dots\dots (10)$$

Siendo
 P_a =Carga axial dinámica equivalente (N)
 F_r =Carga radial (N)
 F_a =Carga axial (N)
 X =Factor radial
 Y =Factor axial

Para rodamientos axiales de rodillos esféricos, la fórmula es:

$$P_a = F_a + 1.2 F_r \dots\dots\dots (11)$$

En este caso el rodamiento no se puede someter a una carga radial mayor del 55% de la carga axial.

1.7 Carga Estática Equivalente y Factor de Seguridad

a) Carga Radial Estática Equivalente
 Cuando un rodamiento radial parado se somete a cargas radiales y axiales combinadas, entonces la carga radial estática equivalente es el mayor de los valores calculados de acuerdo con las dos fórmulas siguientes:

$$P_o = X_o F_r + Y_o F_a \dots\dots\dots (12)$$

$$P_o = F_r \dots\dots\dots (13)$$

Siendo
 P_o = Carga axial estática equivalente (N)
 X_o = Factor radial estático
 Y_o = Factor axial estático
 F_r = Carga radial (N)
 F_a = Carga axial (N)

b) Carga Axial Estática Equivalente
 Cuando un rodamiento axial parado, cuyo ángulo de contacto nominal sea inferior a 90°, se somete a cargas radiales y axiales combinadas, entonces la carga axial estática equivalente se determina de acuerdo con la fórmula siguiente:

$$P_{oa} = F_a + 2.3 F_r \tan^{\alpha} \dots\dots\dots (14)$$

Siendo
 P_{oa} =Carga axial estática equivalente (N)
 F_a =Carga axial (N)
 F_r =Carga radial (N)
 α =Ángulo de contacto nominal

Para rodamientos axiales de rodillos esféricos, la fórmula se escribe de la manera siguiente:

$$P_{oa} = F_a + 2.7 F_r \dots\dots\dots (15)$$

En este caso, la carga radial no puede ser superior al 37% de la carga axial.

c) Factor de Seguridad
 La carga admisible para un rodamiento que está girando se puede determinar de acuerdo con la fórmula de cálculo de vida, basada en la capacidad de carga dinámica efectiva (C_e) del rodamiento.
 No obstante el rodamiento a veces podrá estar sometido a cargas en condiciones estacionarias. En algunas otras aplicaciones, está previsto que cargas de impacto suma-

mente fuertes actúen sobre los rodamientos que giren a baja velocidad.

En estas condiciones estacionarias o semiestacionarias, no es posible determinar la carga admisible mediante la fórmula de cálculo de vida, pero debe estudiarse basándose en la deformación plástica que produciría la carga estática sobre las superficies de contacto.

Las huellas producidas en los caminos de rodadura o en los elementos rodantes quizás no afecten al coeficiente de fricción del rodamiento ni produzcan una vibración o

ruido apreciable durante el funcionamiento, siempre y cuando se trate de huellas muy pequeñas. Sin embargo, estas huellas resultan inadmisibles en cuanto rebasan una cierta magnitud, la cual depende de las condiciones y requisitos de trabajo del rodamiento. Por lo tanto la carga estática admisible para un rodamiento podrá determinarse a partir de la capacidad de carga estática y de unos factores de seguridad establecidos empíricamente para las condiciones de trabajo.

1.8 Vida de Servicio para Diversas Aplicaciones.

Como ya hemos visto en el capítulo selección del rodamiento, los factores que más incidencia tienen en la vida del rodamiento son la carga aplicada y la velocidad de giro (en ese orden respectivo), tal es así que la durabilidad del rodamiento se reduce a 1/8 si la carga externa aplicada duplica la capacidad de carga dinámica C_e (capacidad de carga del fabricante), mientras que esta durabilidad se reduce 1/2 si la velocidad de operación duplica la velocidad límite de giro especificada por el fabricante. Cuanto más larga sea la vida nominal del rodamiento, tanto mayor será la seguridad de la aplicación, sin embargo no es económico sobredimensionar un rodamiento para obtener una vida de servicio superior a la requerida para ciertas aplicaciones. Por ejemplo la durabilidad de 1200 hrs. será excesiva para una aspiradora que trabaja 20-30 minutos al día, mientras que esta misma durabilidad será insuficiente para el rodamiento utilizado en equipos que funcionan 24 hrs. al día como es el caso de los motores eléctricos para plantas.

Cuadro 3 Vida de Servicio para Diversas Aplicaciones

Tipo de Servicio	Aplicación	Horas de vida de Servicio (h)
Equipos utilizados ocasionalmente	Mecanismos para accionamiento de puertas	500
Sustituidos periódicamente para obtener una fiabilidad excepcionalmente alta.	Motores de aviación	500~2000
Utilizados a intervalos cortos, no muy críticos.	Herramientas de mano - Equipos agr'colas - Electrodomésticos Grúas - Alimentador automático de materiales Cabrestantes para servicios pesado	4000~8000
Utilizados a intervalos, pero que han de tener una fiabilidad de servicio adecuada.	Equipos auxiliares en centrales energéticas - Transportadores para líneas de montaje - Grúas para manipulación de materiales - Máquinas herramientas utilizadas con poca frecuencia.	8000~12000
Funcionando durante 8 horas al día, pero no siempre en funcionamiento completo.	Motores eléctricos de planta - Reductores de engranajes	12000~20000
Completamente funcionando durante 8 horas al día.	Maquinaria general en plantas de fabricación - Grúas que trabajan de forma constante - Ventiladores que trabajan de forma constante - Rodillos de mesas de tren de laminación.	20000~30000
Funcionando constantemente durante 24 horas.	Compresores - Bombas - Motores eléctricos para plantas. Rodillos transportadores - Cabrestantes de minas.	40000~60000
Funcionando en forma continua durante 24 horas, en aplicaciones muy críticas.	Maquinaria para fabricación de papel - Centrales energéticas. Bombas de minas - Suministro de agua para zonas urbanas. Maquinaria de buques de funcionamiento constante.	100000~200000



1.9 Dimensiones principales y numeración del rodamiento

1.9.1 Dimensiones principales del rodamiento

Las dimensiones generales de la mayoría de los rodamientos, se han normalizado internacionalmente por ISO (Organización Internacional de Normalización). La norma industrial japonesa JIS B 1512 (Dimensiones Generales de Rodamientos), se corresponde con la norma ISO. Las dimensiones generales de los rodamientos son las dimensiones del contorno externo tales como el diámetro interior, diámetro exterior, anchura o altura, y dimensiones de los chaflanes.

Estas dimensiones se necesitan para elegir un rodamiento adecuado con respecto a las dimensiones del eje y el alojamiento donde va montado. La Fig. 19-1 ilustra las dimensiones generales y sus símbolos para rodamientos radiales distintos a los rodamientos de rodillos cónicos. Las figuras 19-2 y 19-3 muestran estas dimensiones generales para rodamientos de rodillos cónicos y los rodamientos axiales (de asiento plano), respectivamente.

Todas las dimensiones principales van dispuestas de acuerdo con el número interno (diámetro interior), las series de diámetros externos y las series de anchos. Las series de diámetros agrupan juntos aquellos rodamientos cuyos diámetros exteriores tienen una proporción similar a los diámetros interiores.

Dentro de cada serie de diámetros hay diversas series de dimensiones que son una combinación de las series de diámetros y diferentes series de anchuras (o alturas) teniendo estas series, una proporción semejante de anchura (altura) respecto al diámetro.

Estas clasificaciones de series se designan por números que siguen al número del tipo de rodamiento, según se indica en el Cuadro 4.

Las figuras ilustran gráficamente la relación de las series típicas de dimensiones de los rodamientos radiales (excepto los rodamientos de rodillos cónicos) y los rodamientos axiales.

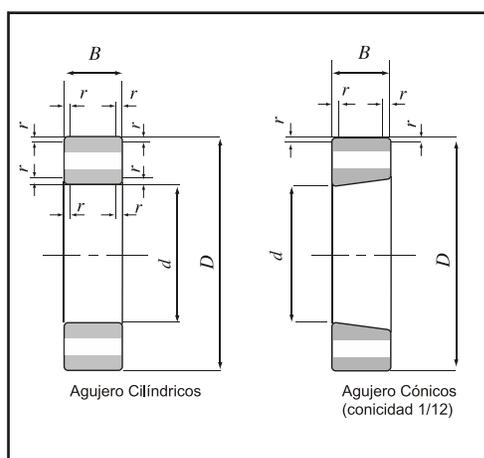


Fig.19-1
Dimensiones Principales de los Rodamientos Radiales (Excepto Rodamientos de Rodillos Cónicos).

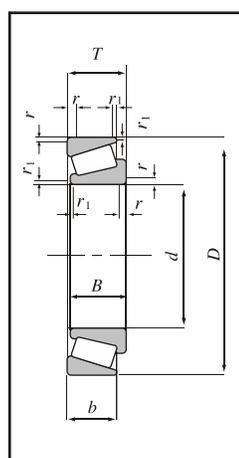


Fig. 19-2
Dimensiones Principales de los Rodamientos de Rodillos Cónicos.

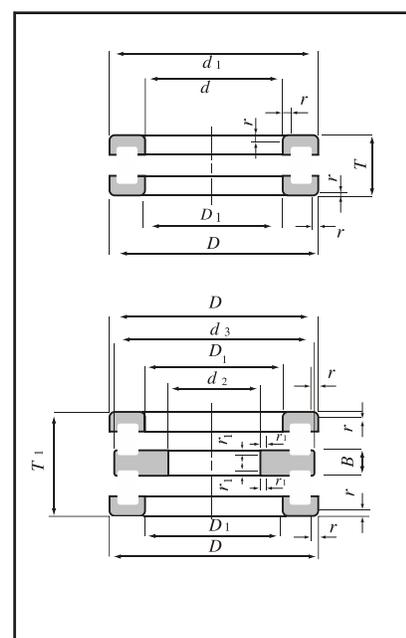
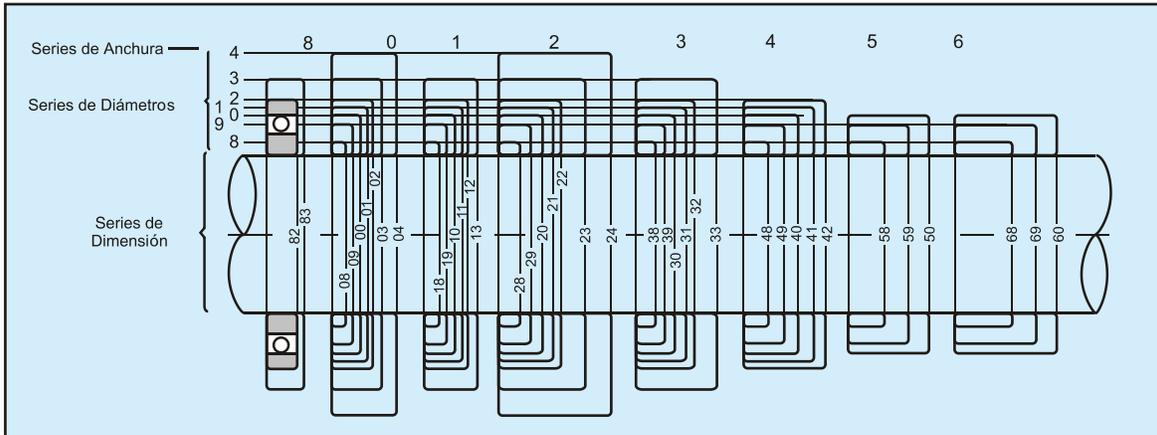


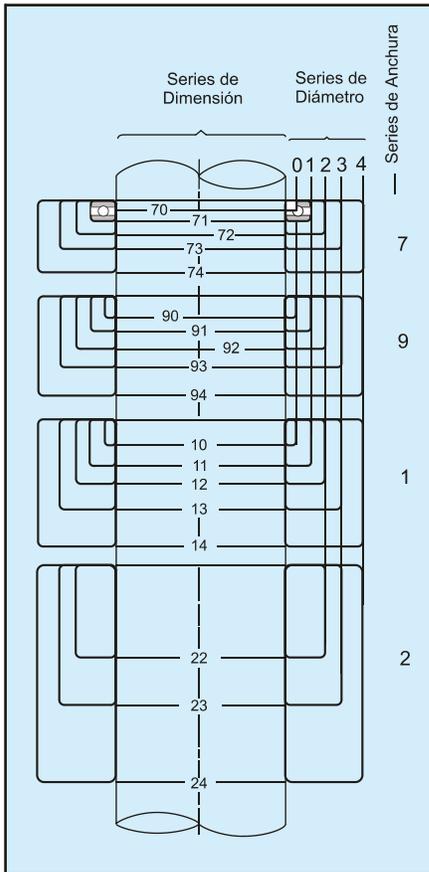
Fig. 19-3 Dimensiones Principales de los Rodamientos Axiales (Asiento Plano).

1.9.2 Comparación de las Series de Dimensión (Excepto la Serie de Diámetro 7) para Rodamientos Radiales que tengan el mismo Diámetro Interior.



Comparación de las Series de Dimensión (Excepto la Serie de Diámetro 5) para Rodamientos Axiales que tengan el mismo Diámetro Interior.

Cuadro 4: Designación de Series de las Principales Dimensiones de los Rodamientos



Tipo de Rodamiento	No. de Rod.	Serie de Rod.	Serie de Dimen.		No. de día. Int.	Dimensiones Principales (D.I x D.E x Anchura) ²⁾ (mm)
			Serie ¹⁾ de Anchura	Serie de Diámetro		
Rodamiento Rígido de Bolas Tamaño Pequeño	608	6	(1)	0	8	8 X 22 X 7
Rodamiento Rígido de Bolas de una Hilera	6208	6	(0)	2	08	40 X 80 X 18
Rodamiento de Bolas de Contacto Angular de una Hilera	7208	7	(0)	2	08	40 X 80 X 18
Rodamiento de Bolas de Contacto Angular de Doble Hilera	5208	5	(0)	2	08	40 X 80 X 30.2
Rodamiento de Bolas Autoalineables	1208	1	(0)	2	08	40 X 80 X 18
Rodamiento de Rodillos Cilíndricos	NU208	NU	(0)	2	08	40 X 80 X 18
Rodamiento de Rodillos Cónicos	32316	3	2	3	16	40 X 170 X 61.5
Rodamiento de Rodillos Esféricos	22316	2	2	3	16	80 X 170 X 58
Rodamiento Axial de Bolas de Simple Efecto con Asiento Plano	51108	5	1	1	08	40 X 60 X 13
Rodamiento Axial de Bolas de Doble Efecto con Asiento Plano	52208	5	2	2	08	40 X 68 X 36
Rodamiento Axial de Bolas de Simple Efecto con Asiento Autoalineable	53308	5	3	3	08	40 X 78 X 28.5
Rodamiento Axial de Bolas de Doble Efecto con Asiento Autoalineable	54308	5	4	3	08	40 X 78 X 54
Rodamiento Axial de Rodillos Esféricos	29320	2	9	3	20	100 X 170 X 42

[Notas] 1) Indica la Serie de Altura para los Rodamientos Axiales

2) Indica (D.I x D.E x Altura) para Rodamientos Axiales

[Observación] el número de la serie de anchura indicado entre () se omite en los números de rodamientos



1.9.3 Sistema de numeración y códigos

Los números de identificación de los rodamientos Koyo se componen de los números básicos y de los códigos auxiliares. Los números básicos consisten en un número de la serie del rodamiento, dos números correspondientes a las series de ancho y diámetro externo (serie de dimensiones) y uno (caso de rodamientos miniatura) o dos números que identifican (multiplicados por 5) al diámetro interno del rodamiento.

Para identificar las características detalladas

de los rodamientos existen un número considerable de códigos auxiliares que han de añadirse al número básico.

Lo más importante en estos códigos son los sufijos correspondientes a la jaula, a las obturaciones, a la configuración del anillo, códigos para montajes apareados, juegos y clase de tolerancia. Una pequeña parte de estos códigos está normalizada en la JIS B 1513 (Designación de rodamientos). Pero la mayoría de las características de los rodamientos tienen códigos distintos en los diferentes fabricantes.

Cuadro 5 Sistema de Numeración de Rodamientos **Koyo**

Características	Clasificación		Número Básico				Código Auxiliar											
	Orden de Código		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tipo de Rodamiento	Símbolos y Códigos		Prefijo	Serie de Rod.	Diámetro Interior	Angulo de Contacto	Diseño Interno	Diseño Especial	Jaula	Obturaciones	Configuración del anillo	Taladro y ranura de lubricación	Material	Tratamiento térmico especial	Apareado	Juego	Clase de tolerancia	Otros
Rodamiento Rígido de Bolas	○				—	○	○	○	○	○	△	△	○	—	○	○	○	△
Rodamiento de Bolas Tipo Magneto	○				—	—	○	—	—	—	—	—	△	—	—	○	—	—
Rodamiento de Bolas de Contacto Angular	○			○	—	○	○	—	△	△	△	○	○	○	○	○	○	—
Rodamiento de Bolas Autoalineables	○			—	○	○	—	△	○	△	—	○	—	○	○	○	○	○
Rodamiento Axial de Bolas	○			—	—	○	○	—	—	—	—	—	○	—	—	○	○	—
Rodamiento de Rodillos Cilíndricos	○			—	○	○	○	○	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○
Rodamiento de Rodillos Cónicos	○			○	○	○	○	—	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○
Rodamiento de Rodillos de Agujas	○			—	—	○	○	△	△	○	—	—	—	○	○	○	○	—
Rodamiento de Rodillos Esféricos	○			—	—	○	—	—	○	○	○	○	○	—	○	○	○	○
Rodamiento Axial de Rodillos Esféricos	○			○	○	○	○	—	○	—	○	○	○	—	—	○	○	—

(NOTA) ○ : Utilizado frecuentemente △ : Utilizado algunas veces — : No se utiliza hasta ahora

Ejemplos de Numeración.

62, 02, ZZ, C3, P4

Código de la clase de tolerancia (Clase 4)
 Código de juego (Juego C3)
 Código de Tapa de Protección (a ambos lados)
 No. de diámetro interior: 15mm.
 Símbolo de la serie de rodamiento (Rodamiento rígido de bolas de la serie de dimensión 02)

70, 36, B, DB, P5

Código de la clase de tolerancia (Clase 5)
 Código apareado (Montaje espalda con espalda)
 Código del ángulo de contacto (40°)
 No. de diámetro interior: 180mm.
 Símbolo de la serie de rodamiento (Rodamiento de bolas de contacto angular de la serie de dimensión 00)

222, 22, RH, K

Código de la configuración del anillo (Agujero cónico 1/12)
 Tipo de rodillos simétricos con jaula prensada
 No. de diámetro interior: 110mm
 Símbolo de la serie del rodamiento (Rodamiento de rodillos esféricos de la serie de dimensión 22)

2. TOLERANCIA DE LOS RODAMIENTOS

Tolerancias y clases de tolerancias para rodamientos.

Las tolerancias de los rodamientos y los valores límites permisibles para las dimensiones principales, así como las velocidades de giro admisibles de los rodamientos son especificadas en JIS B 1514 (Japanese Industrial Standards). La cual está de acuerdo con la correspondiente norma ISO (International Organization for Standardization).

Las tolerancias de los rodamientos están estandarizadas, para las clasificación de éstas se utilizan seis clases de tolerancias descritas en orden creciente de precisión: 0, 6X, 6, 5, 4, y 2.

La clase 0 de rodamientos ofrece adecuadas presentaciones para aplicaciones generales y los rodamientos de la clase 5 o más alta son requeridos para demandas de aplicaciones y condiciones incluidas en el cuadro 7.

Las tolerancias para cada clase de rodamientos y las organizaciones concernientes a los rodamientos también están tabuladas.

2.1 Precisión de dimensiones principales

(Relacionado con dimensiones de montaje en ejes y alojamientos).

-Tolerancias para diámetros de agujeros, diámetros exteriores, espesores de los aros, anchos de rodamientos.

-Tolerancias para grupos de diámetros de agujeros y grupos de diámetro exteriores de rodillos.

-Tolerancias límites para dimensiones de biseles.

-Valores permisibles para variaciones de anchura.

-Tolerancias y valores permisibles para agujeros cónicos.

2.2 Precisión de giro.

(Relacionado con la circularidad de los elementos rotantes).

-Valores permisibles para circularidad radial y cilindridad radial.

-Valores permisibles de circularidad para una parte de la cara, en relación con el agujero del aro interior.

-Valores permisibles para apriete de los rodamientos.

-Valores permisibles del espesor de la pista de rodadura de rodamientos axiales.

Cuadro 6: Clases de Tolerancias para Diversos Tipos de Rodamientos.

TIPO DE RODAMIENTO	CLASES DE TOLERANCIAS (JIS)					
	Clase 0	Clase 6	Clase 6X	Clase 5	Clase 4	Clase 2
Rodamientos Rígidos de Bolas	○	○	—	○	○	○
Rodamientos de Bolas de Contacto Angular	○	○	—	○	○	○
Rodamientos de Rodillos Cilíndricos	○	○	—	○	○	○
Rodamientos de Rodillos de Agujas	○	—	—	—	—	—
Rodamientos de Rodillos Cónicos	○	○	○	○	○	—
Rod. de Rodillos Cónicos (doble y 4 hileras)	○ 1)	—	—	—	—	—
Rodamientos de Rodillos Esféricos	○	—	—	—	—	—
Rodamientos Axiales de Bolas	○	○	—	○	○	—
Rod. Axiales de Rodillos Esféricos	○	—	—	—	—	—

Nota: 1) Esta clase ha sido establecida por la norma de la Asociación Japonesa de Industrias del Rodamiento (BAS)



Se requieren rodamientos de precisión de dimensiones superiores a las estándares (P6, P5, P4 y P2) en equipos que deban cumplir determinadas exigencias de trabajo, como lo son alta precisión de giro, altas velocidades de rotación, baja fricción, etc. Entre los rodamientos que se fabrican con estas tolerancias especiales en sus dimensiones tenemos los rodamientos rígidos de bolas, de bolas de contacto angular, axiales de bolas con contacto angular, rodillos cilíndricos y cónicos (ver cuadro 6 clase de tolerancias de fabricación para diferentes tipos de rodamientos).

Cuando los rodamientos exijan tolerancias especiales (valores no estandarizados) las normas de precisión de fabricación las determinará el fabricante.

Los rodamientos con valores de precisión establecidos en pulgadas (ejm. rodamientos de rodillos cónicos en pulgadas, series: EI, LL, L, LM, M, etc.) se encuentran bajo la norma de la ABMA (Asociación de Fabricantes Americanos de Rodamientos), para rodamientos en general con dimensiones en pulgadas se utilizan las normas BS de Inglaterra.

2.3 Cuadro 7: Aplicación de rodamientos de alta precisión.

<p>Alta precisión de giro es requerida para los elementos rodantes.</p>	<p>Husillos para equipos acústicos/visuales (videograbadoras, grabadoras). P4, P5. Coronas giratorias para radar/antenas parabólicas. P4. Husillos de máquinas herramientas. P5, P4, P2, ABEC 9. Husillos de discos magnéticos para computadoras. P5, P4, P2, ABEC 9. Laminadoras de aluminio. P5. Molinos multi-estacionarios. P4.</p>
<p>Alta velocidad de rotación</p>	<p>Husillos para equipos dentales. P2, ABMA 5P, ABMA 7P. Supercargadores. P5, P4. Husillos para motores de Jet y accesorios. P5, P4. Separadores centrífugos. P5, P4. Husillos para bombas turbo-moleculares. P5, P4. Máquinas herramientas. P5, P4, P2, ABEC 9. Rieles tensores. P5, P4.</p>
<p>Requieren baja fricción o baja variación de fricción.</p>	<p>Equipos de control (motores sincronizados, servomotores, etc.) P4, ABMA 7P. Instrumentos de medición. P5. Husillos para máquinas - herramientas. P5, P4, P2, ABEC 9.</p>

3. MANEJO DE LOS RODAMIENTOS

3.1 Instrucciones generales.

Debido a que los rodamientos son fabricados con más precisión que otras partes de máquinas, es absolutamente necesario manejarlos con cuidado.

A continuación algunas observaciones importantes:

- 1- Mantenga limpia el área de trabajo, así como los rodamientos.
- 2- Maneje los rodamientos cuidadosamente. Los rodamientos pueden sufrir fisuras y rayas fácilmente por fuertes impactos o golpes durante un manejo descuidado.
- 3- Instale y maneje los rodamientos utilizando las herramientas adecuadas.
- 4- Mantenga los rodamientos bien protegidos de la corrosión. No exponga los rodamientos a alta humedad. Al manejarlos, se deben utilizar guantes para prevenir contaminarlos con la transpiración de las manos.
- 5- No exponer los rodamientos a altas temperaturas. Los rodamientos estándares pueden sufrir cambios metalúrgicos si se calientan a una temperatura superior a 120°C, lo cual puede acortar la vida del rodamiento.
- 6- Los rodamientos deben ser manejados por operarios experimentados o bien entrenados.
- 7- Establecer las condiciones de operaciones estándares y darles seguimiento.
 - Almacenamiento de los rodamientos.
 - Limpieza de los rodamientos y sus accesorios.
 - Inspección de las dimensiones de las partes acopladas y condiciones finales.
 - Montaje.
 - Inspección después del montaje.
 - Desmontaje.
 - Mantenimiento e inspección (inspección periódica).
 - Relubricación.

3.2 Almacenamiento de Rodamientos.

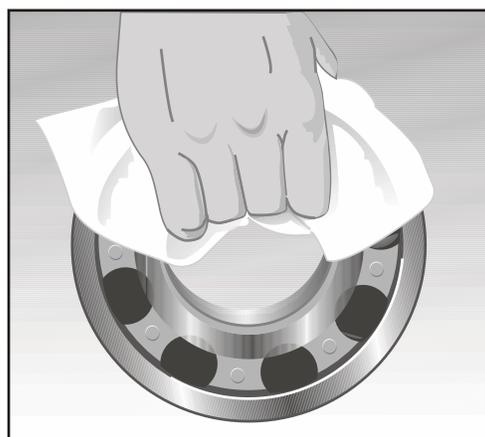
Para preservar la calidad de los rodamientos mientras se encuentren almacenados es necesario mantenerlos cubiertos con un apropiado aceite anticorrosivo y envueltos en papel encerado (celofán).

Si los rodamientos van a estar almacenados por un largo período, es aconsejable que sean colocados en estantes por lo menos a 30 cm de altura del piso, en un ambiente con una humedad relativa del aire aproximada del 65% y a una temperatura alrededor de 20°C.

Evite almacenar los rodamientos en lugares donde queden expuestos directamente a rayos solares, colocar las cajas de rodamientos contra paredes frías o contiguas a salones con máquinas vibratorias.



Mantenga los rodamientos en sus cajas y envolturas originales hasta que sea tiempo de utilizarlos.



Manos limpias más telas limpias significan rodamientos limpios y menos probabilidad de corrosión causada por el sudor.



4. MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Un mantenimiento cuidadoso y una inspección periódica son indispensables para obtener un rendimiento satisfactorio de los rodamientos y prolongar su vida útil.

Por otro lado, la prevención de accidentes y las paradas programadas por causa de la detección temprana de fallas a través del mantenimiento y la inspección, contribuyen favorablemente a mejorar la productividad y la rentabilidad de las plantas.

4.1 Limpieza.

Antes de desmontar un rodamiento para su inspección, registre la condición física del rodamiento, incluyendo la toma de fotografías. La limpieza debe ser hecha sólo después de verificar la cantidad del lubricante remanente en el rodamiento, y de tomar muestras para su análisis.

-Un rodamiento muy sucio deberá ser limpiado usando dos procedimientos de limpieza, tales como: limpieza primaria y limpieza fina. Se recomienda utilizar una red (malla) en el fondo del recipiente para la limpieza del rodamiento.

-Durante la limpieza primaria utilice brochas para remover la grasa y suciedad. Los rodamientos deberán ser manejados con cuidado.

Tome en cuenta que las superficies de rodadura pueden dañarse por partículas externas, si los rodamientos son girados en aceite contaminado.

-Durante la limpieza fina, limpie los rodamientos cuidadosamente rotándolos lentamente dentro de aceite limpio.

En sentido general, agua neutral limpia, aceite industrial ligero o kerosene son usados para limpiar los rodamientos. Una solución alcalina tibia también podrá ser utilizada en caso necesario. Es esencial mantener el aceite limpio filtrándolo antes de utilizarlo para la limpieza.

Otras soluciones combustibles tales como: gasolina, diluyente (thinner) no resultan tan apropiadas para la limpieza, pues son

demasiado abrasivas y en ocasiones crean una capa sobre el rodamiento que impide una buena formación de la película lubricante.

-Es buena práctica aplicar un aceite anti-corrosivo o una grasa preventiva de la oxidación sobre los rodamientos inmediatamente después de la limpieza.

4.2 Inspección y análisis.

Antes de determinar si un rodamiento desmontado será reutilizable es necesario examinar cuidadosamente las dimensiones principales, exactitud de giro, juego interno, superficie de contacto, jaula y sellos, para confirmar que no se presenta ninguna condición anormal.

Es preferible que las personas más experimentadas y quienes tienen suficientes conocimientos tomen la decisión de reutilizar los rodamientos.

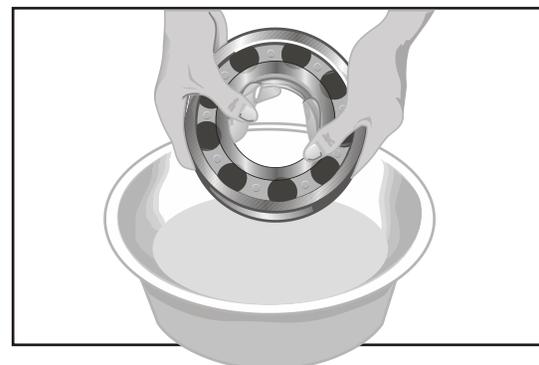
Los criterios para reutilizar los rodamientos después de desmontados, pueden diferir de acuerdo con el rendimiento y la importancia de las maquinarias y según la frecuencia de la inspección.

Reemplace el rodamiento usado por uno nuevo, si detecta alguno de los siguientes defectos:

-Grietas y astilladuras en alguno de los componentes del rodamiento.

-Descascarillado sobre las superficies de rodadura, y en las superficies de contacto.

-Otras fallas en grado serio descritas en la sección de Fallas en los Rodamientos.



5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE FALLAS EN LOS RODAMIENTOS

Es de mucha importancia para aumentar o mejorar la productividad y rentabilidad, así como para prevenir accidentes que las anomalías del funcionamiento de los rodamientos puedan detectarse durante la operación.

Algunos métodos representativos de detección de fallas son descritos a continuación.

5.1 Detección del ruido.

Debido a que la detección de anomalías en el funcionamiento de los rodamientos a partir del ruido requiere una amplia experiencia, es necesario brindarle suficiente entrenamiento a los supervisores de planta. Dado este entrenamiento, es recomendable asignar a una persona específica para este tipo de trabajo, con la intención de que gane esta experiencia.

Se recomienda utilizar algunos accesorios como audífonos, estetoscopios, o al menos barras, tubos sólidos (metal, madera, etc.) apoyados sobre los alojamientos de los rodamientos para detectar el sonido durante el funcionamiento de éstos. Un suave zumbido podrá detectarse si todo está funcionando normalmente. mientras que un rodamiento defectuoso emitirá un ruido de alto nivel de forma irregular.

5.2 Medición de la temperatura de operación (termografía).

Como este método utiliza los cambios de la temperatura de operación, su aplicación es limitada a condiciones de operación relativamente estables.

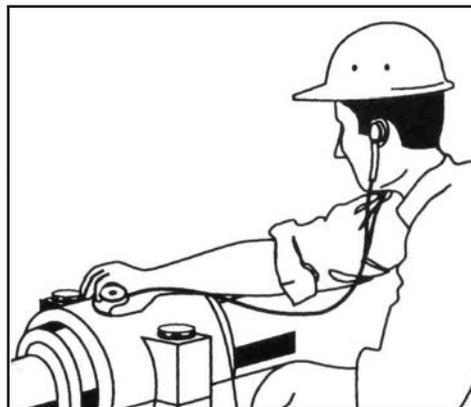
Para la detección de la temperatura de operación tienen que registrarse éstas continuamente, si ocurre alguna anomalía en los rodamientos, la temperatura de operación no sólo aumenta, sino que varía y cambia irregularmente.

Es muy recomendable que este método sea empleado junto con la detección del ruido.

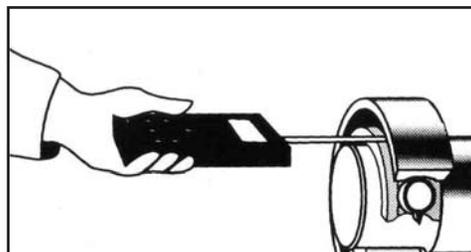
5.3 Análisis del estado del lubricante.

Si un rodamiento está situado en una posición inaccesible, lo cual impide una inspección visual adecuada, o si es de grandes dimensiones, entonces el lubricante constituye un medio eficaz para determinar el estado del rodamiento (análisis de maestras).

Este método permite detectar anomalías causadas por materias extrañas, incluyendo suciedad o polvo metálico, así como el grado de deterioro del lubricante.



Análisis por vibración



Termografía



Ferrografía



6. SISTEMAS KOYO DE DIAGNÓSTICO DE ANORMALIDADES EN LOS RODAMIENTOS

Sistemas AE (emisión acústica).

Es el fenómeno de generación de pulsación acústica, debido a esfuerzos de energía causados por alteraciones estructurales en un material sólido.

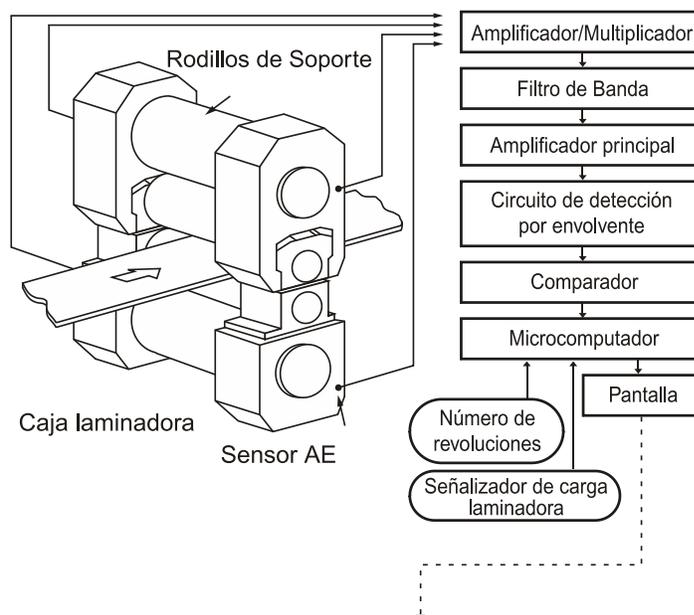
KOYO ha desarrollado y comercializado un confiable diagnóstico de anomalías utilizando el sistema AE (Emisión Acústica). Este método realiza el diagnóstico de anomalías en rodamientos bajo altas vibraciones que serían imposibles de lograr por otros métodos convencionales de diagnóstico.

- Con este sistema podemos detectar emisiones acústicas causadas por pequeñas grietas en los materiales. De esta forma es posible detectar fallas en los rodamientos antes de que afecten el equipo y la calidad del producto.

- Como la emisión acústica (AE) tiene frecuencias a las vibraciones generadas, la sensibilidad de este sistema no es afectada por vibraciones externas. Este sistema también tiene un gran rendimiento para bajas velocidades de rotación en los rodamientos.

- Debido a que la frecuencia de AE (emisión acústica) es diferente de acuerdo al lugar donde ocurre la anomalía, es posible la localización de la zona de defecto en el rodamiento.

- Ya que el resultado es mostrado en la pantalla por un sistema de autoregistro no son necesarias habilidades especiales para hacer un diagnóstico.



Cuando una anomalía es detectada la falla y la parte afectada son mostradas en la pantalla.

7. LUBRICACIÓN DE LOS RODAMIENTOS

Propósitos y métodos de la lubricación.

La lubricación es uno de los factores más importantes para determinar el rendimiento y la vida de los rodamientos.

La calidad del lubricante y el método de lubricación tienen una influencia dominante en la duración de los rodamientos.

7.1 Función del lubricante.

* Lubricar cada parte de los rodamientos y reducir la fricción y el desgaste.

*Evacuar el calor generado dentro del rodamiento debido a la fricción y a otras causas.

*Cubrir con una película de lubricante las superficies en contacto de rodadura para prolongar la vida de los rodamientos.

*Prevenir la corrosión y la contaminación por suciedad o materias extrañas.

La lubricación de los rodamientos es clasificada ampliamente en dos categorías: lubricación por grasa y lubricación por aceite.

El cuadro 8, muestra una comparación entre los dos tipos más difundidos de lubricación

7.2 Cuadro 8: COMPARACION ENTRE GRASAS Y ACEITES LUBRICANTES.

item	Grasa	Aceite
Sistema de sellado.	Fácil.	Ligeramente complicado y especial cuidado requerido para el mantenimiento
Capacidad de lubricación.	Buena.	Excelente.
Velocidad.	Baja y media velocidad.	Considerado como bueno para altas velocidades.
Relubricación.	Ligeramente difícil.	Fácil.
Vida del lubricante.	Relativamente corta.	Larga.
Efecto refrigerante.	Bajo o nada.	Bueno (circulación necesaria).
Filtración de suciedad.	Difícil.	Fácil.

Existen actualmente 3 formas o tipos de lubricación: la lubricación líquida (por aceite), la lubricación semi-sólida (por grasa) y la lubricación sólida (por elementos o compuestos sólidos, ejemplo: compuestos de molibdeno añadidos como aditivos, recubrimientos con Ag, Au, y otros elementos). De la formas enunciadas, nos

referiremos principalmente a la lubricación por grasa y por aceite, las cuales abarcan la casi totalidad de casos actualmente.

La lubricación sólida se reserva para maquinaria y condiciones muy especiales, tales como equipos al vacío, de rayos X, aceleradores atómicos, etc.



8. LUBRICACIÓN CON GRASA

Las grasas son mezclas semisólidas de un lubricante fluido (llamado "aceite base") y de un agente espesador (llamado "espesante"), el cual es un jabón metálico.

La grasa ha ido ganando aceptación como lubricante para rodamientos, en parte debido a las recientes mejoras en cuanto a calidad y funcionamiento de la misma y en parte por las ventajas inherentes de facilidad de manejo (no necesidad de relubricación por largos períodos una vez aplicada) y requisitos de obturación sencillos. Existen dos métodos de lubricación con grasas: uno es el método de lubricación cerrada, en el cual la grasa se introduce dentro de un rodamiento sellado u obturado: el otro es el método de realimentación, en el que el rodamiento, así como el alojamiento, son rellenados con grasa en una cantidad adecuada y luego relubricados a intervalos regulares a través de agujeros específicos.

Algunos dispositivos o equipos con numerosas entradas para engrasar, emplean el método de lubricación centralizada, en el cual estas entradas se conectan a través de tubos y se suministra grasa en forma simultánea.

La mayoría de las grasas para rodamientos, se componen de un aceite base mineral y de una base de jabón metálico, que puede ser de litio, sodio o calcio. Para aplicaciones especiales se necesitan aceites sintéticos tales como aceite de silicona, aceite diéster o poliglicol. Ocasionalmente se utilizan espesantes que no sean a base de jabón (por ejm. bentonita, gel de sílice, urea), según las aplicaciones.

Además, a menudo se usan según la necesidad diversos aditivos, por ejemplo: aditivos de extrema presión, inhibidores de la oxidación, etc.

8.1 Cantidad de grasa.

En general la grasa debe aplicarse en una cantidad suficiente para cubrir totalmente

el rodamiento y aproximadamente de un tercio a la mitad del espacio libre del alojamiento (i.e 30% al 50%), a pesar de que esta cantidad puede variar de acuerdo a la velocidad de funcionamiento del rodamiento, temperatura de trabajo, etc.

Se debe tener siempre en cuenta, que una excesiva cantidad de grasa generará más calor en movimiento, y consecuentemente podrá envejecerse, deteriorarse o tornarse demasiado suave. Para rodamientos en soportes de pie (u otros), se debe llenar completamente el rodamiento, mientras que en 1/3 ó más el espacio libre del soporte.

Cuando el rodamiento está funcionando a bajas velocidades de rotación, el espacio libre del soporte en ocasiones podrá lubricarse con grasa de dos tercios (2/3) a completamente con la intención de evitar la penetración de partículas extrañas (Ejm. equipos agrícolas y de transmisión de poder).

Las siguientes fórmulas pueden ser utilizadas como una guía para la cantidad de grasa inicial requerida.

Para rodamientos de bolas:

$$G = \frac{B^{2.5}}{900} \text{ (gms).} \quad G = \frac{B^{2.5}}{7.85} \text{ (oz).}$$

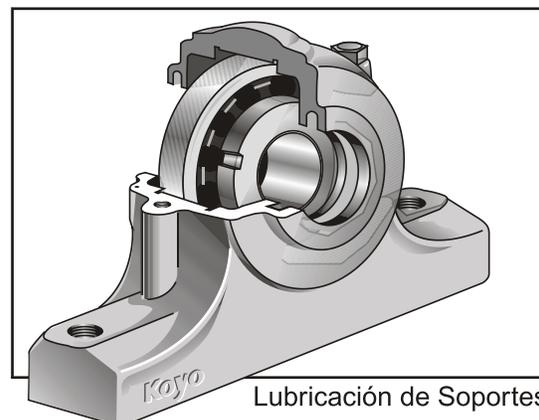
Para rodamientos de rodillos.

$$G = \frac{B^{2.5}}{350} \text{ (gms).} \quad G = \frac{B^{2.5}}{3.05} \text{ (oz).}$$

Donde:

G=Cantidad inicial de grasa. (gms,oz.)

B=Agujero del rodamiento (mm,pulg.)



Lubricación de Soportes

8.2 Relubricación con grasa.

El método de rellenar/reemplazar grasa depende ampliamente del sistema de lubricación usado.

Cualquier método que se utilice debe proveer grasa limpia y mantener la suciedad fuera del alojamiento del rodamiento. También es deseable que la grasa aplicada sea de la misma clase de la que tiene el rodamiento en todo lo posible. Cuando se está relubricando con grasa, se debe utilizar grasa nueva y no contaminada.

La cantidad de grasa nueva (relubricación), estará en función de las dimensiones del rodamiento y podrá determinarse mediante la siguiente fórmula:

$$G = 0.005 \times D \times B$$

Donde:

G - Cantidad de Grasa, en gramos.

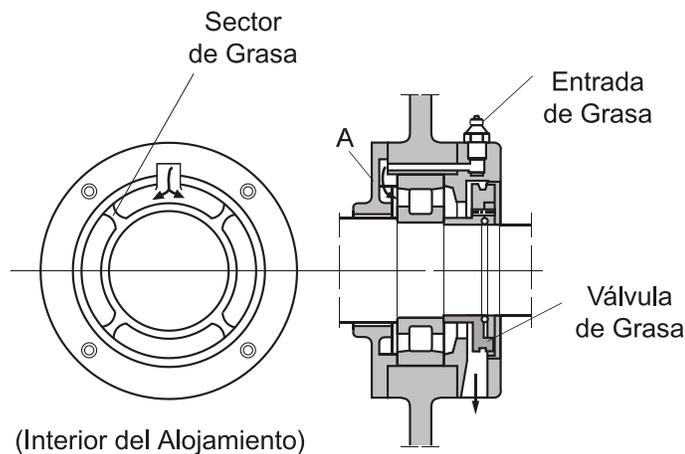
D - Diámetro exterior del rodamiento en milímetros.

B - Ancho del rodamiento en milímetros.

Válvulas de Grasa:

Cuando un rodamiento trabaja a altas velocidades de rotación y exige una relubricación frecuente, existe la posibilidad de una acumulación de grasa, lo cual impedirá el libre giro de los elementos rodantes y por consiguiente, provocará el sobrecalentamiento del rodamiento.

La válvula de grasa ha sido diseñada con la finalidad de evitar este fenómeno, ya que la misma es una especie de anillo deflector, destinado a expulsar la grasa vieja, aprovechando para ello la fuerza centrífuga de un disco que gira junto con el eje.



En el ejemplo que mostramos, el interior del alojamiento está dividido por sectores de grasa, la grasa nueva es inyectada, llenando un sector y obligando a la grasa vieja a fluir hacia el otro sector, de donde es expulsada fuera del alojamiento por medio de la válvula de grasa.



8.3 Intervalos de Reengrase.

Para sustituir la grasa se aplicarán las mismas precauciones que para el reengrase.

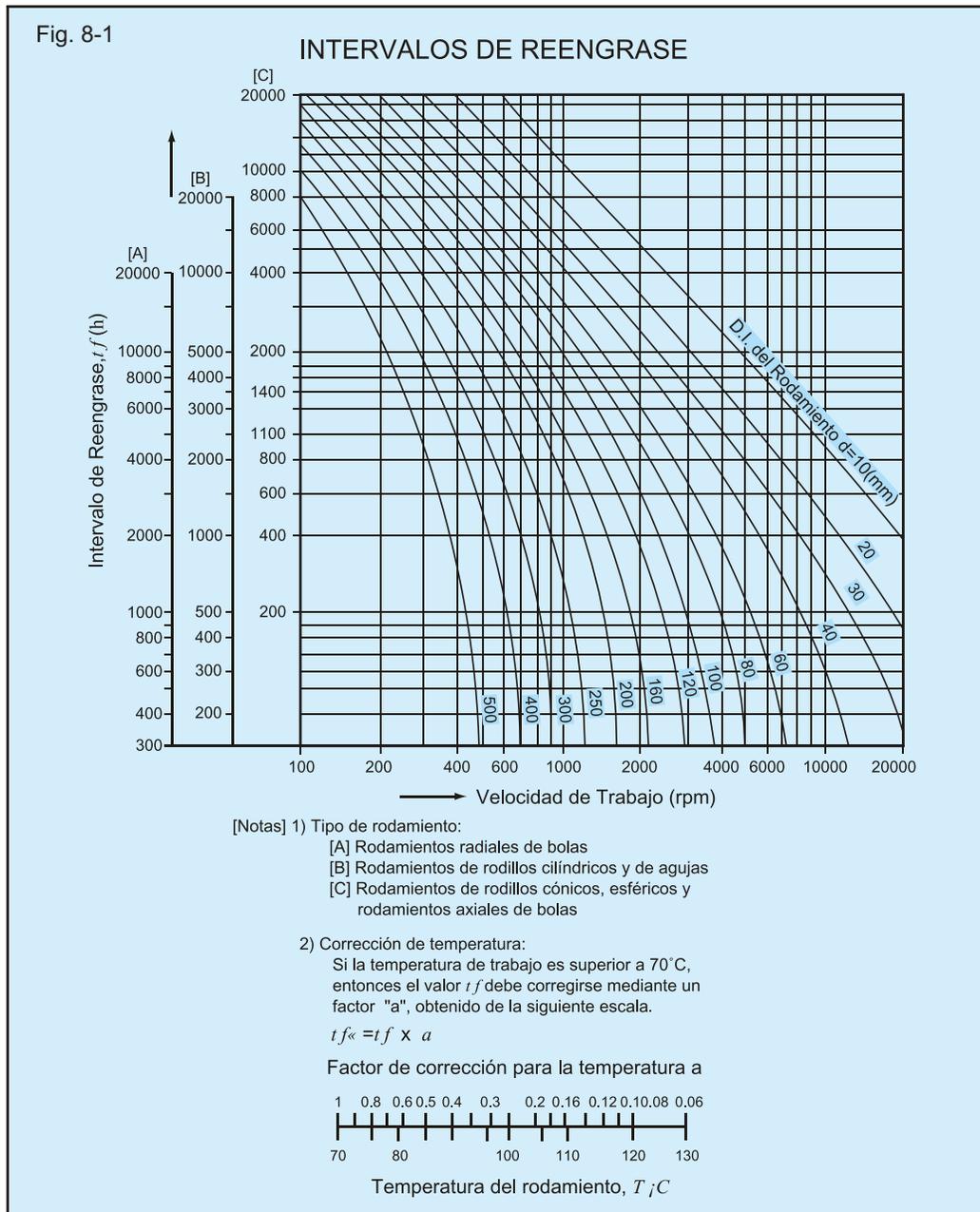
Dado que los intervalos de sustitución dependen en parte de la grasa, será necesario conocer bien el tipo y características de la grasa utilizada.

La vida de la grasa varía notablemente según su tipo y calidad, y también estará

determinada por el tipo de rodamiento, condiciones de trabajo, temperatura, penetración de materias extrañas y agua.

En condiciones de trabajo normales, la vida de la grasa será aproximadamente la indicada en el gráfico respectivo de intervalos de reengrase.

Es recomendable utilizar este diagrama como orientación para el reengrase y sustitución de la grasa.



8.4 Vida de la grasa en los rodamientos de bolas sellados/obturados (prelubricados).

La vida de la grasa en un rodamiento de bolas pre-enrasado puede obtenerse por aproximación mediante la fórmula siguiente:

$$\log. L = 6.10 - 4.40 \times 10^{-6} d_m n$$

$$- 2.50 \left(\frac{P}{C_e} - 0.05 \right)$$

$$- (0.021 - 1.80 \times 10^{-8} d_m n) T \quad (4 - 21)$$

siendo,

L = Vida de la grasa (h)

$$d_m = \frac{D + d}{2} \quad (\text{m m})$$

(D: Diámetro exterior del rodamiento,
d: Diámetro interior del rodamiento)

n = Velocidad de trabajo (rpm)

P = Carga radial equivalente (N)

C_e = Carga dinámica efectiva del rodamiento (N)

T = Temperatura del rodamiento (°C).

En el cálculo anterior, los valores de T, $d_m n$ y P / C_e están sujetos a las siguientes condiciones:

- (1) Temperatura del rodamiento, T °C.
Si la temperatura del rodamiento es inferior a 50 °C, utilizar T=50.
Si la temperatura del rodamiento es superior a 120 °C, consultar al servicio de ingeniería de Koyo.
- (2) Velocidad de trabajo, $d_m n$
Utilizar $d_m n = 12.5 \times 10^4$, si la velocidad de trabajo es menor a $12.5 \times 10^4 d_m n$. Consultar al servicio de ingeniería de Koyo si la velocidad de trabajo es superior a $50 \times 10^4 d_m n$
- (3) Carga del rodamiento P/Ce
Si P/Ce es inferior a 0.05 utilizar P/Ce = 0.05.
Consultar al servicio de ingeniería de Koyo si P/Ce es superior a 0.2.

8.5 Componentes de las grasas.

A continuación algunos conceptos básicos de los componentes elementales de las grasas, así como de características específicas y recomendaciones.

1. Aceite base:

El aceite mineral es comúnmente utilizado como aceite base para la grasa. Cuando se requiera la estabilización del lubricante a bajas temperaturas de trabajo o alguna otra condición especial sea exigida, el aceite silicón, aceite diéster, aceite poliglicol, aceite fluorado u otro aceite sintético es muchas veces usado. Generalmente, la grasa con un aceite base de baja viscosidad, es apta para aplicaciones a bajas temperaturas o a altas velocidades de rotación, mientras que la grasa con un aceite base de alta viscosidad es apta para aplicaciones a altas temperaturas o bajo cargas pesadas.

2. Jabones espesantes:

La mayoría de las grasas usan un jabón espesante metálico, como por ejemplo, a base de litio, sodio o calcio.

Sin embargo, para algunas aplicaciones, sustancias inorgánicas, tales como la bentonita, sustancias orgánicas como úrea compuesta, fluor compuesto, etc. son también utilizadas como jabón espesante.

En general, la estabilidad mecánica, la temperatura de operación de los rodamientos, resistencia al agua y otras características de las grasas son determinadas por el jabón espesante.

*Grasa con jabón espesante a base de Litio: Superior en resistencia al calor, resistencia al agua y estabilidad mecánica.

*Grasa con jabón espesante a base de Sodio: Superior en resistencia al calor, inferior en resistencia al agua.

*Grasa sin jabón espesante base: Superior en resistencia al calor.

3. Aditivos:

Varios aditivos son selectivamente usados para servir a los respectivos propósitos de las aplicaciones de las grasas.

*Agentes de extrema presión (cuando los rodamientos deben tolerar carga pesada o de impacto).

*Inhibidores de oxidación (cuando la grasa no es reemplazada por un largo período de tiempo).

*Estabilizadores de estructura y los impedidores de la corrosión son también utilizados.



8.6 Consistencia

La consistencia o dureza de una grasa se expresa por su índice de penetración, y es semejante a la viscosidad de un aceite. Al elegir la grasa, esta característica es un factor tan importante como los tipos de espesantes y aceites base, y viene determinada por la proporción de ambos y las condiciones de formulación. El índice de penetración de una grasa puede determinarse de acuerdo con ASTM (Sociedad Americana de Ensayo de Materiales), dejando que un émbolo metálico en forma de cono penetre en la grasa a 25°C. La profundidad de penetración se mide en mm y multiplicada por 10, es el índice de penetración. En la práctica se suele hacer referencia mas bien, a una escala de penetración preparada por el NLGI (Instituto Nacional Americano de Grasas Lubricantes). En la tabla siguiente se establece la relación entre esta escala con el índice de penetración de la ASTM.

Es imperativo que la temperatura de trabajo del rodamiento se encuentre siempre dentro del rango de la temperatura de operación especificada para la grasa que se emplea. Aunque unas grasas más suaves ofrecen una mejor lubricación, también es probable que se agiten. Al agitarse la grasa tiende a provocar elevación de temperatura y

fugas, por lo que debe tenerse en cuenta esta característica al elegir la penetración de la misma. Para condiciones de trabajo normales, se utilizan generalmente grasas con un número NLGI del 0 al 3, si la velocidad de trabajo del rodamiento es más alta, se deberá elegir una grasa algo más dura, de alta estabilidad mecánica.

8.7 Mezclado de diferentes tipos de grasas.

Dado que el mezclado de grasas de diferentes tipos cambia las propiedades de cada una de éstas, las grasas de distintas marcas no deben mezclarse.

Generalmente, las mezclas de grasas con la misma base de jabón tienen influencias pequeñas en las características de las grasas, mientras que si se mezclan grasas con diferentes bases de litio y sodio, entonces las propiedades de las grasas pueden verse muy afectadas. Sin embargo, ha de tenerse en cuenta que se debe proceder con cuidado, incluso, cuando se mezclan grasas con la misma base de jabón. Si el mezclado de las grasas es algo inevitable, se debe procurar utilizar grasas con el mismo tipo de jabón espesante. Para mayor seguridad es conveniente ensayar la influencia que puede tener la mezcla prevista, o bien debe hacerse de antemano un examen de las experiencias del pasado.

Cuadro 9: Compatibilidad de las Grasas

	Grasa al Litio	Grasa al Calcio	Grasa al Sodio	Grasa al Aluminio
Grasa al Litio	○	△	×	×
Grasa al Calcio	△	○	△	△
Grasa al Sodio	×	△	○	△
Grasa al Aluminio	×	△	△	○

- (Notas)
- : En general, las características cambian según la proporción de la mezcla.
 - △ : Puede producirse un cambio considerable de características.
 - ×
- × : Produce cambio extremo en las características.

9. LUBRICACIÓN POR ACEITE

9.1 Selección del aceite lubricante.

El criterio más importante en la selección del aceite lubricante es la viscosidad y las propiedades del aceite en operación, así como la temperatura de funcionamiento de los rodamientos.

Los valores estándares y las propiedades de viscosidad cinemática pueden ser obtenidos según el tipo de rodamiento, de acuerdo a la tabla correspondiente mostrada abajo y también de acuerdo a las condiciones de funcionamiento de los rodamientos.

Cuadro 10: VISCOSIDAD CINEMATICA APROPIADA SEGUN EL TIPO DE RODAMIENTO	
Tipo de rodamiento.	viscosidad cinemática a la temp. de trabajo.
De bolas. De rodillos cilíndricos.	13 mm ² /s o mayor. 13 mm ² /s o mayor.
De rodillos cónicos. De rodillos esféricos.	20 mm ² /s o mayor. 20 mm ² /s o mayor.
Axial/rodillos esféricos.	32 mm ² /s o mayor.

Cuando la viscosidad del lubricante es demasiado baja, la película de aceite podría ser insuficiente. Por otro lado, cuando la viscosidad es demasiado alta, es probable que se produzca una gran generación de calor dentro del rodamiento debido a la resistencia del aceite.

En general las cargas más pesadas y las altas temperaturas de operación deben trabajar con un aceite de alta viscosidad, mientras que las elevadas velocidades de rotación, deben operar con aceites lubricantes de baja viscosidad.

9.2 Sistema de lubricación por aceite.

La lubricación por aceite permite unas velocidades de trabajo más elevadas y en general unas temperaturas de funcionamiento mayores que las de la lubricación por grasa. Además, tiende a la reducción de las vibraciones y del ruido en el

rodamiento. Por estas y otras ventajas, la lubricación por aceite a menudo constituye la solución para muchos problemas que no se consiguen tratar adecuadamente mediante la lubricación por grasa. Para la lubricación de los rodamientos se prefieren aceites con una elevada estabilidad mecánica y química. Por este motivo se utilizan generalmente aceites minerales de alta calidad, que son los menos propensos a oxidarse, formar mezclas heterogéneas o compuestos gomosos

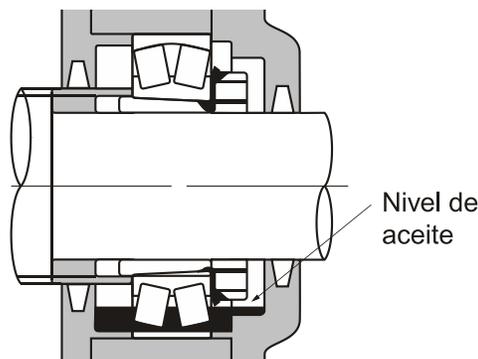
Características del aceite lubricante:

- *Viscosidad adecuada.
- *Elevado índice de estabilidad.
- *Elevada estabilidad a la oxidación.
- *Oleosidad adecuada.
- *Silencioso.
- *Características anti-oxidantes,
- *Características anti-corrosivas.
- *Características anti-espumantes.
- *Elevada resistencia de la película.
- *Al igual que las grasas, los aceites lubricantes se clasifican de acuerdo con sus aplicaciones por las normas JIS.

9.3 Tipos y métodos de lubricación por aceite.

1- Lubricación por baño de aceite.

- *Método de lubricación por aceite más común para velocidades bajas y medias.
- *El nivel indicador de aceite puede variar según la velocidad de trabajo. Para velocidades más altas se recomienda un nivel de aceite algo más bajo. Si la velocidad de trabajo es reducida, entonces no habrá problemas de exceso de lubricación.



Lubricación por baño de aceite



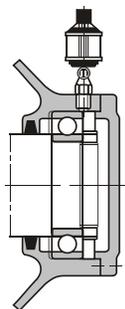
2- Goteo de aceite.

*Recomendable para velocidades de rotación elevadas.

*En general de 5 a 6 gotas de aceite son utilizadas por minuto (es difícil ajustar el goteo en 1 ml/h o valores menores).

*Se utiliza un depósito de aceite transparente, para gotear el aceite dentro de la caja del rodamiento con el caudal necesario, el caudal de suministro de aceite se puede ajustar mediante un tornillo situado en la parte superior del engrasador.

*El aceite que pasa a través del rodamiento debe drenarse antes de que forme una acumulación excesiva de aceite en la caja.



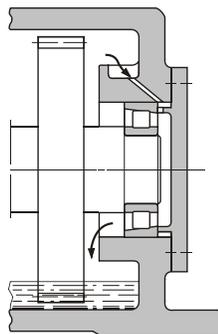
3- Salpicadura de aceite.

*Para este tipo de lubricación se aprovechan los engranajes, o se incorpora un sencillo rodete para salpicar con el aceite.

*Método muy utilizado en cajas de transmisión de máquinas-herramientas y cajas de cambio de automóviles.

*Aplicable para velocidades de rotación relativamente elevadas.

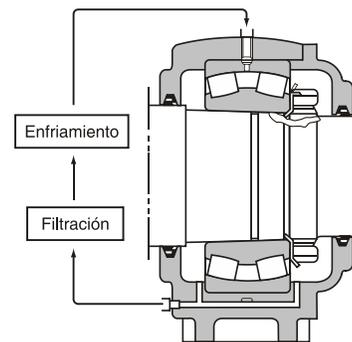
*Si hay peligro de que los rodamientos se contaminen con partículas metálicas procedentes de los engranajes, u otro tipo de suciedad, entonces es conveniente utilizar rodamientos con tapas de obturación.



4- Circulación forzada de aceite.

*Este método suministra una circulación continua de aceite. El rodamiento está provisto de un dispositivo para enfriar el aceite, el cual después de ser enfriado es enviado de regreso al tanque a través de un tubo de escape, luego de lo cual es bombeado nuevamente para repetir el ciclo de trabajo.

*Empleado a grandes distancias, para rotación a altas velocidades y en condiciones de elevadas temperaturas



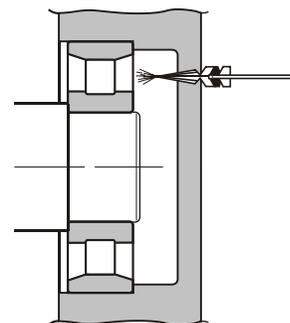
5- Lubricación por chorro de aceite.

*Este método usa una boquilla para inyectar aceite a presión constante (10 a 50 N/cm) y es altamente efectivo para el enfriamiento.

*Adecuado para aplicaciones de cargas pesadas, altas velocidades y grandes temperaturas, todo ello, al mismo tiempo.

*Situarse el chorro de aceite lo más próximo posible al espacio entre los anillos y la jaula (entre 5 a 10mm.) para facilitar la entrada de aceite al rodamiento.

*Cuando el calor generado es muy elevado pueden utilizarse de 2 a 4 inyectoros.



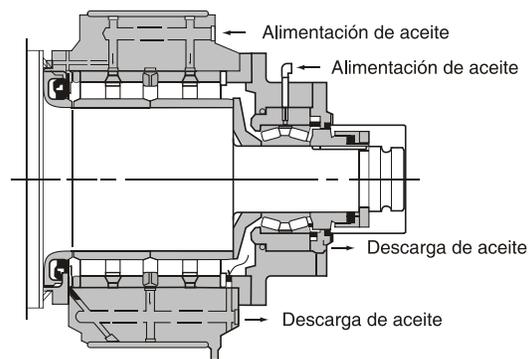
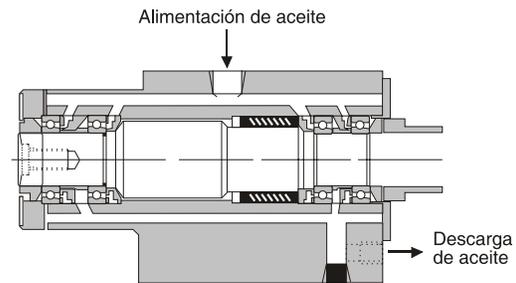
6- Lubricación por niebla de aceite.

*Este sistema de niebla de aceite es el método más eficaz para lubricar rodamientos a alta velocidad.

*El aceite se atomiza y es arrastrado por el aire comprimido a todas las zonas del rodamiento, un suministro continuo de un gran caudal de aire a presión evacúa el calor generado sobre este, y al mismo tiempo impide que entre suciedad, reduce el desgaste y mantiene la precisión de giro.

*Dado que este sistema tiene un consumo de aceite muy pequeño, el entorno de la máquina se mantiene limpio y no hay peligro de incendio.

*Proporciona y mantiene el valor más pequeño de aceite necesario para la lubricación de los rodamientos, por lo cual, previene la contaminación del aceite, simplificando el mantenimiento, reduciendo su consumo, y por lo tanto, prolongando la vida de los mismos.



7- Lubricación por aceite / aire.

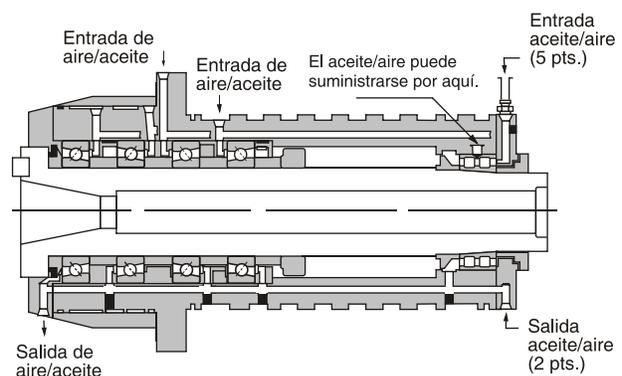
*Una bomba dosificadora envía una pequeña cantidad de aceite, que es combinado con aire comprimido por una válvula mezcladora.

*Este método facilita el control cuantitativo del aceite en valores extremadamente pequeños y brinda un suministro continuo de aceite.

*Apto para máquinas-herramientas y otras aplicaciones que requieren altas velocidades de rotación.

*El aire comprimido y el aceite lubricante llegan al husillo de la bomba, incrementándose la presión interna y ayudando a prevenir la suciedad.

*Koyo produce el Lubricador de Aceite/Aire y el limpiador de aire, así como también, un husillo incorporado al sistema de lubricación por aceite / aire.





9.4 Caudal de aceite requerido en los sistemas de lubricación por circulación forzada de aceite y lubricación por chorro de aceite.

$$G = \frac{1.88 \times 10^{-4} \cdot \mu \cdot d \cdot n \cdot P}{60 \cdot c \cdot r \cdot (T_f - T_i)}$$

donde;

- G = Caudal de aceite necesario. (litros/min).
- μ = Coeficiente de fricción. (ver tabla abajo)..
- d = Diámetro nominal del rodamiento. (mm).
- n = Velocidad de rotación del rodamiento. (rpm.).
- P = Carga dinámica equivalente en el rodamiento. (N).
- c = Calor específico del aceite. aprox.: 1.88 ~ 2.09 kJ/kg. (°C).
- r = Densidad del aceite. (g/cm³).
- T_f-T_i = Variación de la temperatura del aceite. (°C).

Cuadro 11 VALORES DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN " μ ", EN FUNCION DEL TIPO DE RODAMIENTO.	
Tipo de Rodamiento	μ
Rodamiento rígido de bolas.	0.0010 - 0.0015
Rodamiento de bolas con contacto angular.	0.0012 - 0.0020
Rodamiento de bolas autoalineables.	0.0008 - 0.0012
Rodamiento de rodillos cilíndricos.	0.0008 - 0.0012
Rodamiento de rodillos de agujas.	0.0025 - 0.0030
Rodamiento de rodillos cónicos.	0.0017 - 0.0025
Rodamiento de rodillos esféricos.	0.0020 - 0.0025
Rodamiento axial de bolas	0.0010 - 0.0015
Rodamiento axial de rodillos esféricos	0.0020 - 0.0025

Fricción del Rodamiento.

La reciente necesidad de ahorro de energía ha exigido que las máquinas tengan cada vez menos pérdida de la misma, por esta razón la fricción se ha convertido en otra de las características importantes de los rodamientos. Los rodamientos presentan coeficientes de fricción inferiores (generalmente de 0.003) a los de los cojinetes (puede llegar a alcanzar hasta entre 0.1 a 0.2), por lo cual mantienen una fricción de arranque inferior. La fricción varía según el tipo de rodamiento (ver cuadro 11). En los rodamientos axiales de bolas el coeficiente de fricción es inferior que en un rodamiento radial a baja velocidad, sin embargo la fricción presenta un drástico incremento con el aumento de la velocidad de operación debido a la fuerza centrífuga que actúa sobre las bolas en rodamientos axiales. Dado a que en la generación de fricción también influyen el tipo y cantidad de lubricante utilizado en el sistema de lubricación, será necesario suministrar un lubricante en el volumen necesario en aquellas aplicaciones en que sea importante considerar la fricción.

10. PRECARGA DE LOS RODAMIENTOS

Los rodamientos en operación requieren una holgura de funcionamiento positiva o negativa, según la aplicación, generalmente, la holgura de funcionamiento debe ser positiva, es decir, aunque pequeña, el rodamiento al girar debe tener una determinada holgura residual, sin embargo, existen muchos casos en que es preferible una holgura de funcionamiento negativa, o sea una precarga.

La carga axial, definida como "precarga", es frecuentemente aplicada a los rodamientos de bolas de contacto angular y a los rodamientos de rodillos cónicos.

10.1 Propósitos de la precarga.

*Aumentar la rigidez de la disposición de los rodamientos o incrementar la exactitud de giro, tal es el caso de los rodamientos del piñón de ataque en las transmisiones de vehículos a motor, husillos de máquinas-herramientas, etc.

*Minimizar el ruido anormal debido a vibración o resonancia.

*Mantener los elementos rodantes en correcta posición relativa con la pista de rodadura.

*Compensar el desgaste y el asentamiento debido al funcionamiento.

*Prolongar la vida de servicio.

Ahora bien, dado que la precarga puede afectar la vida de los rodamientos, la temperatura de trabajo y el par de fricción, el valor de la precarga no debe ser excesivo. Es importante elegir un valor de precarga adecuado según los fines y las condiciones de trabajo.

10.2 Método de precarga de los rodamientos

La precarga puede darse bien por el método de posicionado o por el método de

muelles (presión constante).

En el primer caso se utiliza una contratuerca, paquete de suplementos o unos separadores para colocar uno de los anillos en una posición determinada con relación al otro anillo.

En el segundo método se utiliza un resorte helicoidal o de membrana, para aplicar una presión constante al rodamiento.

Comparación entre los dos métodos:

*Para el mismo valor de precarga el método de posicionado brinda una mayor rigidez axial, debido al menor desplazamiento longitudinal del rodamiento.

*El método de posicionado permite aplicar con facilidad grandes precargas. Sin embargo, es más probable que la precarga obtenida por este método llegue a ser excesiva durante las condiciones de trabajo, debido a las diferencias de temperatura entre el eje y el alojamiento.

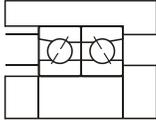
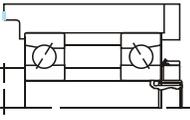
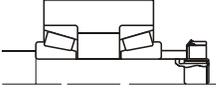
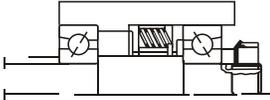
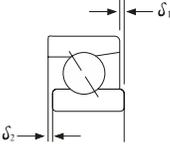
*El método de muelles (presión constante) permite aplicar una precarga más estable durante el trabajo, así como pequeñas variaciones en la magnitud de la carga. Esto es gracias a que el resorte puede absorber las fluctuaciones de carga y las diferencias de temperaturas entre el eje y el alojamiento durante la operación.

Cuando se adopta este método, hay que tener cuidado con el sentido y magnitud de la carga axial durante las condiciones de trabajo, ya que si se produce una carga axial de sentido opuesto y magnitud superior a la precarga, esta quedará anulada.

Consecuentemente, el método de posicionado es más apto para aplicaciones que requieren alta rigidez, mientras que la constante presión de precarga (método de muelles) es ideal para aplicaciones que exijan altas velocidades de rotación, prevención de la vibración en dirección axial, y también es utilizado en los rodamientos de empuje axial (rodamientos axiales de rodillos esféricos) montados en ejes horizontales.



Cuadro 12: MÉTODOS DE PRECARGA DE RODAMIENTOS

*Método de posicionado		*Método de resortes (presión constante).	
			
<p>*Precarga para rodamientos apareados con diferencias de espesor en las caras ajustables en el montaje</p> 	<p>*Precarga usando espaciadores con dimensiones definidas</p>	<p>*Precarga usando contra-tuercas o aros ajustables para la dirección axial. (En este caso, el momento de fricción inicial durante el montaje debe ser medido para lograr la precarga adecuada.</p>	<p>*Precarga usando resorte helicoidal o resorte de membrana.</p>

10.3 Magnitud de la precarga

Como se dijo, en los rodamientos de bolas de contacto angular y los rodamientos de rodillos cónicos frecuentemente se montan aplicando una cierta magnitud de carga axial al rodamiento.

También los rodamientos axiales de bolas y los rodamientos axiales de rodillos esféricos se precargan para mantener los elementos rodantes en sus posiciones adecuadas.

La magnitud de la precarga puede determinarse midiendo bien el desplazamiento axial, o la propia carga axial aplicada o el par de arranque del rodamiento. Cuando se utiliza el primero de los métodos es necesario conocer la relación entre la carga axial aplicada y el desplazamiento axial. Se han desarrollado numerosas fórmulas de carácter experimental para diversos tipos de rodamientos.

En caso de rodamientos de rodillos cónicos, de bola de contacto angular y axiales que son los tipos corrientes a los cuales se aplica precarga, se puede estimar la magnitud del desplazamiento axial por la fórmulas siguientes:

Rodamientos de bolas de contacto angular

$$\delta_a = \frac{4.36}{\text{sen } \alpha} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{D_a}} \times 10^{-4} \dots\dots (4-18)$$

Rodamientos de rodillos cónicos

$$\delta_a = \frac{7.69}{\text{sen } \alpha} \cdot \frac{Q^{0.9}}{l_{\text{eff}}^{0.8}} \times 10^{-5} \dots\dots (4-19)$$

Rodamientos axiales bolas

$$\delta_a = \frac{5.24}{\text{sen } \alpha} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{D_a}} \times 10^{-4} \dots\dots (4-20)$$

siendo,

δ_a = Magnitud del desplazamiento axial (mm)

Q = Carga aplicada a cada elemento rodante
 $= F_a / Z \text{ sen } \alpha$ (N)

D_a = Diámetro de bolas (mm)

l_{eff} = Longitud efectiva de rodillos (mm)

F_a = Carga axial (N)

α = Angulo de contacto

Z = Número de elementos rodantes

La carga excesiva en los rodamientos de bolas de contacto angular da lugar a que aumente el ángulo de contacto

11. MONTAJE DE LOS RODAMIENTOS

Recomendaciones para el montaje de los rodamientos.

Siempre y cuando sea posible, lo ideal es realizar el montaje en una zona de trabajo limpia y seca, distante de máquinas de trabajar metales o de cualquier otro tipo de máquinas que produzcan virutas, limaduras o polvo.

Previamente al montaje, todas las herramientas y equipos necesarios para el mismo deben estar al alcance. De igual forma, es recomendable estudiar los planos y los pasos que se detallan, con el objetivo de definir la secuencia del montaje.

11.1 Preparación de los rodamientos.

Espere justo antes del montaje, para remover los empaques de los rodamientos, previniendo así la contaminación y el óxido. Debido a que el aceite anti-corrosivo que cubre los rodamientos protege la superficie de los mismos, este aceite no debe ser removido de los rodamientos prelubricados, ni cuando los rodamientos sean usados para aplicaciones normales. Por otro lado, para los rodamientos usados en instrumentos de medición o a altas velocidades de rotación, el aceite anticorrosivo puede ser removido usando un aceite limpiador detergente. Después de remover este aceite anticorrosivo, los rodamientos no pueden dejarse a la intemperie porque se oxidan con facilidad.

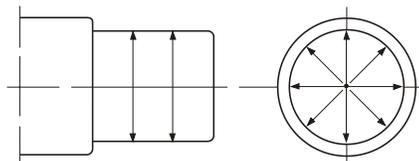
11.2 Inspección de ejes y alojamientos.

Limpie el eje y el alojamiento para verificar si existen grietas o rebabas producto del mecanizado.

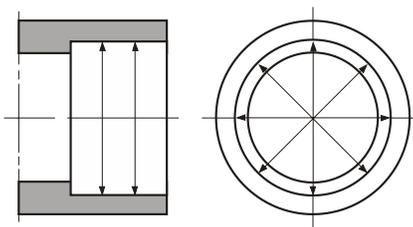
Limpiar cuidadosamente la superficie interior del alojamiento, para eliminar cualquier abrasivo, arena de fundición y virutas.

Después verifique las dimensiones, formas y las condiciones finales del eje y el alojamiento, de acuerdo a las especificaciones del plano.

El diámetro del eje y el diámetro del agujero del alojamiento pueden ser medidos en puntos extremos como los mostrados.



*Puntos de medición para el diámetro del eje



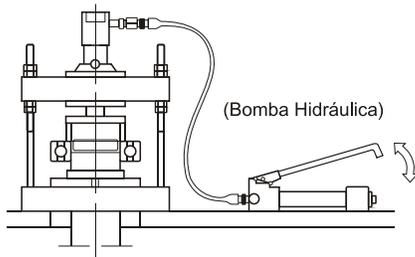
*Puntos de medición para el diámetro del alojamiento.



11.3 Ajuste de interferencia (o presión) en rodamientos con agujero cilíndrico..

Métodos de Montaje

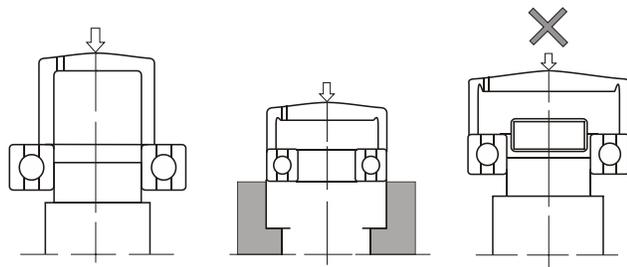
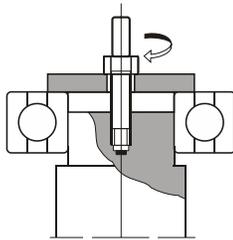
Descripción.



*En la figura a) es mostrado un rodamiento, el cual es montado suave y cuidadosamente, utilizando un accesorio (buje) para la aplicación de una fuerza distribuida sobre el rodamiento. Cuando instale el anillo interior, aplique presión solamente en el anillo interior. Igualmente, durante el montaje del anillo exterior, presione solamente sobre el anillo exterior.

Montaje mediante accesorio (Buje)

a)- Usando presión de ajuste.
(método más usado).

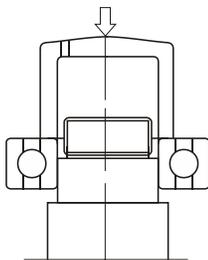


Presión en el anillo interior

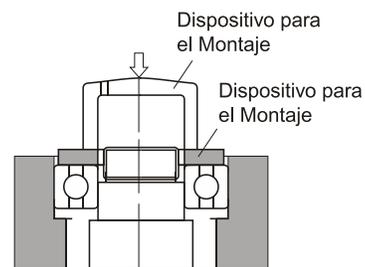
Presión en el anillo exterior

Presión en el anillo interior

b)-Usando perno y tuerca



*Si la interferencia es requerida en ambos anillos interior y exterior simultáneamente, en rodamientos no separables, se usan dos tipos de accesorios, como los mostrados en la figura de abajo. En este caso será necesario aplicar la fuerza cuidadosamente, ya que los elementos rodantes se pueden dañar fácilmente.



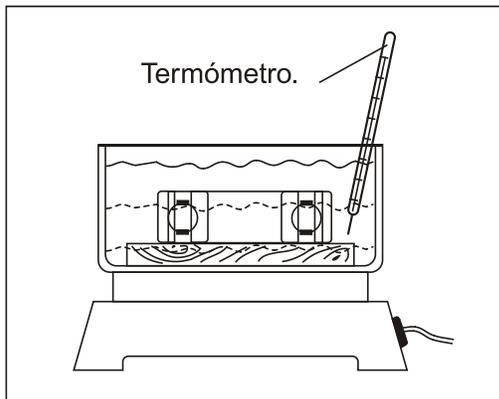
c)- Usando golpes.
(Solamente cuando no existe otra alternativa de montaje)

Presión de ajuste simultáneamente en el anillo interior y el exterior

11.4 Ajuste de contracción para rodamientos con agujero cilíndrico.

Ajuste de contracción (apriete).

Descripción.



*Este método expande los rodamientos por calentamiento de aceite, tiene la ventaja de que no es necesario aplicar grandes esfuerzos sobre los rodamientos y de que pueden ser extraídos en corto tiempo.

- La temperatura del aceite no debe superar los 100°C, porque los rodamientos a temperaturas superiores a 120°C pierden la dureza (comprendida entre 60 a 64 HRC).

- La temperatura de calentamiento puede ser determinada con el diámetro del agujero del rodamiento y la interferencia requerida, usando como referencia la gráfica que muestra las temperaturas de calentamiento para diferentes ajustes del anillo interior (ver fig. 11-1).

- Use una malla u otro medio para levantar el rodamiento y prevenir que éste quede sobre el fondo del contenedor.

- Al utilizar el método de expansión térmica se debe recordar que al enfriarse el rodamiento sobre el eje se contrae tanto axial como radialmente. Para asegurar el contacto adecuado entre el anillo interior y el resalte (escalón) del eje, será necesario que durante el enfriamiento el anillo interior sea apretado contra el resalte.

- El calentador por inducción Koyo garantiza un montaje y desmontaje eficaz de los anillos interiores con agujero cilíndrico de los rodamientos de rodillos cilíndricos.

El calentador por inducción brinda un mayor rendimiento, debido a tener integrado un autodesmagnetizador y a la posibilidad de regular la temperatura y el tiempo de calentamiento.

a)-Calentamiento en baño de aceite.



b)- Calentador por Inducción

La figura muestra el calentador por Inducción Koyo, utilizado para el montaje de rodamientos de agujeros cilíndricos.

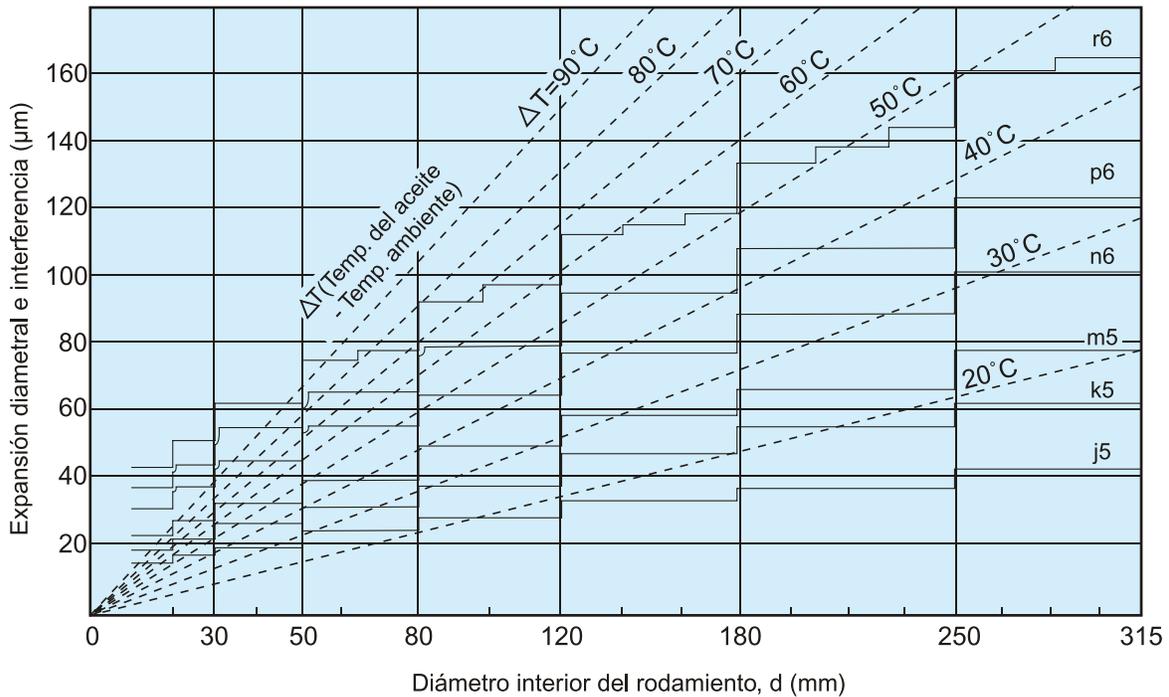


11.5 Fig. 11-1. Temperaturas de calentamiento para diferentes ajustes del anillo interno.

Con el aumento de la dimensión de un rodamiento, se incrementa también la fuerza necesaria para su montaje, si un ajuste de interferencia requiere de una gran fuerza para llevar a cabo el montaje, entonces es posible calentar el rodamiento

acoplamiento con el asiento del eje. El calentamiento generalmente se realiza en un baño de aceite (como indicamos con anterioridad), controlando que la temperatura de calentamiento (use un termómetro) no supere los 100°C.

Temperaturas de Calentamiento para Diferentes Ajustes del Anillo Interior



11.6 Montaje en los alojamientos.

La mayoría de las recomendaciones hechas para el montaje de los rodamientos sobre el eje, son también válidas para montar los rodamientos dentro de los alojamientos. Si el rodamiento tiene un ajuste de interferencia en el alojamiento, entonces este debe diseñarse y fabricarse de tal manera que no se deforme por las fuerzas debidas al ajuste. Los rodamientos colocados en el lado libre, salvo los rodamientos de rodillos

cilíndricos, deben montarse con un ligero juego entre el anillo exterior y el alojamiento. Si se utiliza un soporte bipartido se procederá con especial cuidado para asegurar que el diámetro interior del soporte (alojamiento) tenga suficiente redondez y un ajuste adecuado con el rodamiento después del montaje, ya que en caso contrario el rodamiento podría quedar deformado por las fuerzas de apriete.

11.7 Fuerza necesaria para ajuste con interferencia y desmontaje de los rodamientos.

La fuerza necesaria para ajustar con interferencia o remover el anillo interno de los rodamientos, varía dependiendo del acabado de los ejes y de cuanta interferencia presenten los rodamientos. Los valores estándares pueden ser obtenidos usando las siguientes ecuaciones:

(ejes macizos)
$$K_a = 9.8f_k \cdot \Delta_{deff} \cdot B \left(1 - \frac{d^2}{D_i^2}\right) \times 10^3$$

(ejes huecos)
$$K_a = 9.8f_k \cdot \Delta_{deff} \cdot B \frac{\left(1 - \frac{d^2}{D_i^2}\right) \left(1 - \frac{d_0^2}{d^2}\right)}{\left(1 - \frac{d_0^2}{D_i^2}\right)} \times 10^3$$

donde:

K_a	= fuerza necesaria para remover o montar con interferencia.	N
Δ_{deff}	= interferencia efectiva.	mm
f_k	= coeficiente de resistencia (coeficiente que toma en consideración la fricción entre el eje y el aro interior). Ver cuadro 13.	
B	= ancho nominal del aro interior.	mm
d	= diámetro nominal del agujero del aro interior.	mm
D_i	= diámetro exterior promedio del aro interior.	mm
d_0	= diámetro del agujero en ejes huecos.	mm

Cuadro 13: VALORES DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA (f_k .)

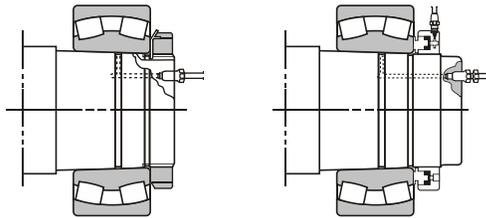
Condiciones	f_k .
*Presión de ajuste en los rodamientos para ejes cilíndricos.	4
*Remover rodamientos en ejes cilíndricos.	6
*Presión de ajuste de los rodamientos en ejes cónicos o manguitos cónicos.	5.5
*Remover rodamientos en ejes cónicos o manguitos cónicos.	4.5
*Presión de ajuste de manguitos cónicos, entre ejes y rodamientos.	10
*Remover manguitos cónicos colocados entre ejes y rodamientos.	11



11.8 Cuadro 14: MONTAJE DE RODAMIENTOS CON AGUJERO CÓNICO.

Métodos de Montaje.

Descripción.



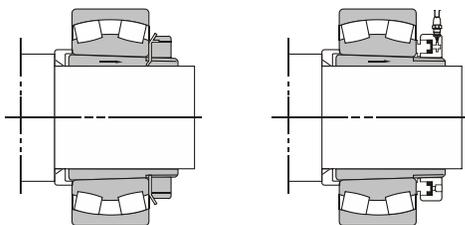
1- Contratuerca.

2- Tuerca hidráulica.

*Cuando montamos los rodamientos directamente sobre ejes cónicos, proveemos los ejes con ranuras y agujeros, para inyectar aceite a alta presión en el espacio entre las dos superficies. Tal inyección puede reducir el torque de apriete de la contratuerca, disminuyendo la fricción de contacto entre las superficies.

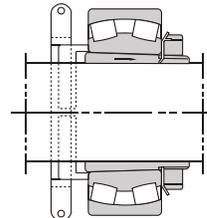
*Cuando es requerido un posicionamiento exacto de los rodamientos en los muñones (extremos de apoyo) del eje durante el montaje, use una abrazadera como ayuda para determinar el posicionamiento del rodamiento.

a)- Montaje en ejes Cónicos.



1-Contratuerca.

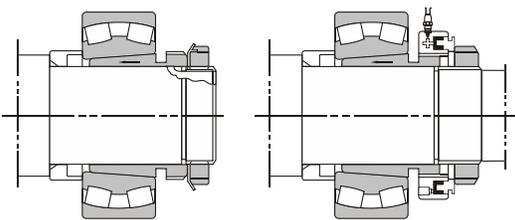
2-Tuerca hidráulica.



Posicionamiento del rodamiento usando abrazadera.

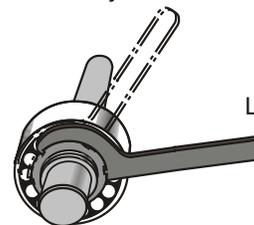
*Cuando montamos rodamientos en ejes, generalmente usamos contratuercas, utilizando llaves de tuerca para apretarlas. También podemos realizar el montaje usando tuercas hidráulicas.

b)- Montaje usando un manguito de montaje.



1-Contratuerca.

2-Tuerca hidráulica.



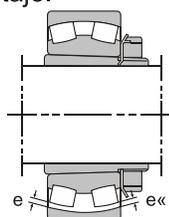
Llave de Tuerca

*Cuando montamos un rodamiento de rodillos esféricos con agujero cónico, la reducción en el juego radial interno ocurre gradualmente durante la operación, debemos tomar en consideración también el desplazamiento axial admisible durante el montaje. (Ver cuadro 15).

*La reducción del juego radial puede ser medida con una galga de espesores. Primero, coloque los rodillos en la posición adecuada y luego inserte la galga en el espacio ente los rodillos y el aro exterior. Después cuidadosamente tome las medidas de juego en diferentes puntos.

*Cuando montamos rodamientos de bolas autoalineables debemos dejar suficiente juego para permitir el fácil alineamiento del aro exterior.

c)- Montaje usando un manguito de desmontaje.



11.9 Cuadro 15: MONTAJE DE RODAMIENTOS DE RODILLOS ESFÉRICOS CON AGUJERO CÓNICO.

Nota: Los valores de reducción del juego radial interno en el cuadro 15, fueron obtenidos al montar rodamientos con juegos estándares en ejes sólidos. Al montar rodamientos con juego C3, los máximos valores en la tabla deben ser tomados como estándares.

Diámetro nominal del agujero d mm		Reducción del juego radial interno μm		Desplazamiento axial, mm				Juego residual mínimo requerido, μm		
				1/12 conicidad		1/30 conicidad		Juego estándar	C 3 Juego	C 4 Juego
over	up to	min.	max.	min.	max.	min.	max.			
24	30	15	20	0.27	0.35			10	20	35
30	40	20	25	0.32	0.4			15	25	40
40	50	25	35	0.4	0.5			20	30	45
50	65	30	40	0.45	0.6			25	35	55
65	80	35	50	0.55	0.75			35	40	70
80	100	40	55	0.65	0.85	---	---	40	50	85
100	120	55	70	0.85	1.05	2.15	2.65	45	65	100
120	140	65	90	1.0	1.2	2.5	3.0	55	80	110
140	160	75	100	1.1	1.35	2.75	3.4	55	90	130
160	180	80	110	1.2	1.5	3.0	3.8	60	100	150
180	200	90	120	1.4	1.7	3.5	3.0	70	110	170
200	225	100	130	1.55	1.85	3.85	3.4	80	120	190
225	250	110	140	1.7	2.05	4.25	5.1	90	130	210
250	280	120	160	1.8	2.3	4.5	5.75	100	140	230
280	315	130	180	2.0	2.5	5.0	6.25	110	150	250
315	355	150	200	2.3	2.8	5.75	7.0	120	170	270
355	400	170	220	2.5	3.1	6.25	7.75	130	190	300
400	450	190	240	2.8	3.4	7.0	8.5	140	210	330
450	500	210	270	3.1	3.8	7.75	9.5	160	230	360
500	560	240	310	3.5	4.3	8.75	10.8	170	260	370
560	630	260	350	3.9	4.8	9.75	12.0	200	300	410
630	710	300	390	4.3	5.3	10.8	13.3	210	320	460
710	800	340	430	4.8	6.0	12.0	15.0	230	370	530
800	900	370	500	5.3	6.7	13.3	16.8	270	410	570
900	1000	410	550	5.9	7.4	14.8	18.5	300	450	640

Prueba de funcionamiento.

Una prueba de operación es requerida para asegurar el montaje apropiado de los rodamientos.

En el caso de máquinas compactas, la rotación puede ser revisada por una operación manual al principio. Si no se observan anomalías como las que señalaremos posteriormente, realice una prueba de operación usando una fuente de poder. En los equipos grandes será necesario utilizar el motor desde el inicio de la prueba. La máquina debe arrancar a baja velocidad e ir aumentando gradualmente la velocidad hasta llegar a la velocidad nominal, se deben verificar las condiciones de funcionamiento del rodamiento, usando para esto los siguientes puntos de comprobación:

***Golpeteo:** debido a grietas o inserción de materias extrañas en las superficies de contacto de los elementos rodantes.

***Torque excesivo:** causado por la fricción en mecanismos de sellado, con juegos demasiado pequeños y errores de montaje.

***Torque de movimiento desigual:** debido a montaje inapropiado. En máquinas demasiado grandes para permitir el torque (par de giro), se apaga la fuente de poder, luego realizamos el giro manualmente y confirmamos que los rodamientos roten suavemente sin ningún ruido, ni vibraciones anormales.

La fuente de poder debe ser arrancada sin carga y a bajas velocidades hasta alcanzar la velocidad de diseño.

Comprobar el ruido, incremento de temperatura y las vibraciones. Para cualquiera de las anomalías mencionadas debemos detener la operación e inspeccionar los defectos encontrados. Los rodamientos deben ser desmontados inmediatamente si es necesario.

11.10 Cuadro 16: TIPOS DE RUIDOS EN LOS RODAMIENTOS, CARACTERÍSTICAS Y MEDIDAS CORRECTIVAS.

DENOMINACION	RUIDO SIMILAR	CARACTERÍSTICAS	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS
Ruido de Brineación	Sonido de sirena no muy claro.	Cíclico, como el ruido defectuoso a baja velocidad.	Marcas por brineación en el camino de rodadura.	1- Sustituir el rodamiento. 2- Comprobar y mejorar el procedimiento de montaje. 3- Eliminar el falso brineado.
Ruido de Ajuste.	Ruido de tambor o martilleo.	1- El ruido se produce en aquellas posiciones donde el ajuste es suave. 2- Frecuentemente tiene lugar cuando hay mucho juego.	1- Desequilibrio dinámico de un cuerpo rotante. 2- Golpeteo entre superficie de ajuste debido a vibraciones de un cuerpo rotante generalizados desde el exterior.	1- Revisar el sistema de ajuste. 2- Eliminar el desequilibrio existente. 3- Aplicar precarga.
Ruido de Caída de Rodillos.	Ruido de cascada (repiqueteo)	1- Frecuentemente se produce en rodamientos de tamaño medio a grande. 2- Aparece cíclicamente en bajas velocidades. 3- Los rodamientos con menor juego interno o con menor juego de la jaula no se ven afectados.	Choque entre los elementos rotantes y jaula, o entre la jaula y el camino de rodadura en la zona sin carga	1- Reducir el juego. 2- Comprobar el juego de la jaula. 3- Utilizar un lubricante que tenga menor resistencia a la rotación y mejores características de lubricación.
Ruido de Chirrido.	Ruido irregular de chirrido.	1- No es cíclico. 2- Se produce a velocidad más alta que la velocidad de diseño. 3- A menudo se ven afectados los rodamientos de rodillos cilíndricos. 4- Va asociado a una lubricación inadecuada.	Deslizamiento entre los rodillos y camino de rodadura o jaula, combinado con lubricación inadecuada.	1- Mejorar la lubricación. 2- Reducir el juego.
Ruido de Sessadura.	Como ruido de chirrido.	1- No es cíclico. 2- No está relacionado con la velocidad. 3- No está relacionado con lubricación.	Deslizamiento debido a sessadura en los rodillos.	1- Sustituir el rodamiento. 2- Revisar el juego. 3- Comprobar si hay desalineación en el montaje
Ruido de Descascarillado.	Ruido de Martilleo	1- Cíclico (excepto cuando los descascarillados se produzcan en los elementos rotantes). 2- Marcadamente fuerte. 3- No ocurre durante la operación inicial.	Descascarillado en el camino de rodadura o elementos rotantes.	Sustituir el rodamiento.

DENOMINACION	RUIDO SIMILAR	CARACTERÍSTICAS	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS
Ruido en el Camino de Rodadura	Ducha	1- Cuanto mayor sea la velocidad de trabajo, tanto más intenso es el ruido. 2- Nivel de ruido uniforme a velocidad constante. 3- Algunas veces se percibe un ruido metálico.	1- Acabado inadecuado de la superficie del camino de rodadura. 2- Juego negativo. 3- Falta de lubricación. 4- Superficie del camino de rodadura áspera por causa de materias extrañas.	1- Sustituir el rodamiento. 2- Modificar el ajuste y juego del rodamiento. 3- Utilizar un mejor lubricante. 4- Comprobar y mejorar el procedimiento de lavado, obturación, lubricación y filtro.
Ruido Ondulante	Ruido similar a una sirena repetida a breves intervalos.	1- Nivel de ruidos elevados, a determinadas velocidades. 2- Tanto el tono como el volumen varían según la velocidad.	Excesivas ondulaciones en la superficie del camino de rodadura o en los elementos rotantes.	Sustituir el rodamiento.
Ruido Defectuoso.	Ruido de perforación de un remache.	1- El ruido se produce a intervalos más largos, al ir disminuyendo la velocidad. 2- El ruido algunas veces desaparece al aplicar una precarga axial. 3- El ruido se produce de forma cíclica. 4- El ciclo del ruido es frecuente y regular si el defecto está en el camino de rodadura, mientras que es mucho menos frecuente si el defecto está en un elemento rodante.	Defecto en el camino de rodadura o en los elementos rotantes.	1- Sustituir el rodamiento. 2- Mejorar el sistema de montaje. 3- Comprobar el sistema de limpieza.
Ruido de Suciedad.	Un ruido irregular arenoso. También se llama a veces, ruido de vana.	1- No es uniforme ni cíclico. 2- Puede eliminarse limpiando bien el rodamiento. 3- No se altera con la velocidad.	1- Limpieza inadecuada. 2- Materias extrañas en el lubricante.	1- Mejorar el sistema de limpieza. 2- Comprobar si está contaminado el lubricante.
Ruido por Oxidación	Igual que el ruido defectuoso.	Igual que el ruido defectuoso.	Oxido en el camino de rodadura o en los elementos rotantes.	1- Sustituir el rodamiento. 2- Mejorar el sistema de prevención del óxido.



11.11 Cuadro 17: CAUSAS Y CONTRAMEDIDAS PARA UN INCREMENTO ANORMAL DE LA TEMPERATURA	
Causas.	Contramedidas
Demasiado lubricante.	Reducir cantidad de lubricante Usar grasa de menor consistencia.
Insuficiente Lubricante.	Relubricar.
Lubricante Inapropiado.	Seleccionar el lubricante apropiado.
Carga Anormal.	Revisar ajuste y condiciones de juego, ajustar precarga.
Montaje Inadecuado (fricción excesiva).	Mejorar precisión en el proceso de mecanizado, y en el montaje del eje y el alojamiento. Revisar ajuste. Mejorar mecanismo de sellado.

Normalmente, escuchar el ruido a través de los ejes, permite detectar averías en los rodamientos. Un rodamiento deteriorado genera un ruido excesivo, generalmente anormal y sordo.

Koyo ha desarrollado sistemas de inspección de rodamientos tales como el comprobador de rodamientos Koyo (Analizador de fallas/Bearing Checker) para detectar irregularidades en las superficies de los rodamientos en una fase precoz, así como mediante el análisis de vibraciones, y el diagnóstico de anomalías utilizando el sistema AE (emisión acústica). Ver métodos de análisis de fallas de rodamientos.

En general, la temperatura de los rodamientos puede ser estimada mediante la temperatura del alojamiento, pero un

método más efectivo, es medir directamente la temperatura del anillo exterior por vía del agujero de lubricación. Comúnmente, la temperatura de los rodamientos empieza a incrementarse gradualmente, a medida que los mismos entran en operación a menos que exista alguna anomalía, la temperatura de éstos se estabiliza después de estar funcionando de una a dos horas.

De cualquier forma, un rápido incremento de la temperatura o un inusual valor de la misma son indicativos de alguna anomalía.



12. DESMONTAJE DE LOS RODAMIENTOS

El método que se aplique para el desmontaje de los rodamientos dependerá del motivo por el cual se retiran estos del servicio.

Para los rodamientos que van a ser desechados, cualquier simple método, incluso el corte oxiacetilénico puede ser utilizado, aunque se debe tomar especial cuidado con este método para no dañar el eje o el alojamiento. En los rodamientos que van a ser reutilizados, debemos tener el mismo cuidado durante el montaje como en

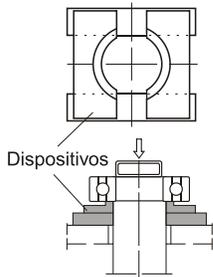
el desmontaje, para no dañar los rodamientos y otras partes (accesorios de montaje, ejes, etc.).

Así mismo, los rodamientos con ajuste de interferencia pueden dañarse fácilmente durante el desmontaje, por lo cual deben ser incorporadas medidas en el diseño de los equipos para la prevención de daños durante el desmontaje. También es recomendable diseñar y construir dispositivos para el desmontaje. Para facilitar el análisis de averías, se recomienda anotar el estado del rodamiento antes de su desmontaje, teniendo en cuenta su posición y orientación.

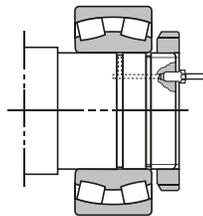
12.1 Cuadro 18: DESMONTAJE DE RODAMIENTOS CON AGUJERO CILINDRICO.

Método de desmontaje del anillo interior

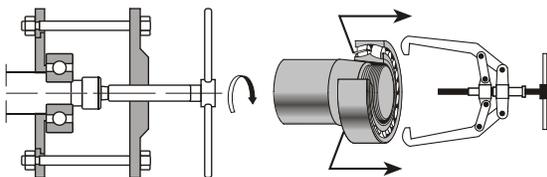
Descripción



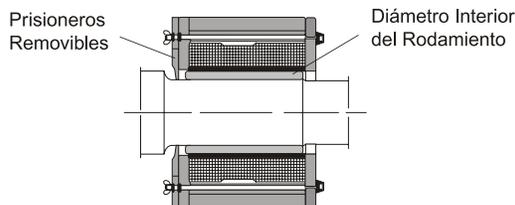
a) Desmontaje usando prensa mecánica.



b) Desmontaje mediante uso de aceite



c) y d) Desmontaje usando extractor



e)- Desmontaje utilizando un calentador por inducción

*Los rodamientos no-separables deben ser tratados cuidadosamente durante el desmontaje a fin de minimizar los esfuerzos externos que afectan a los elementos rodantes.

*La vía más fácil para remover este tipo de rodamientos es aplicando presión, de la manera como se muestra en la fig. a).

Es recomendable que el dispositivo (botador tubular) usado para el desmontaje, aplique la fuerza solamente en el aro interior del rodamiento.

*Los rodamientos grandes pueden ser removidos aplicando aceite a presión entre las superficies en contacto, como se muestra en la fig. b).

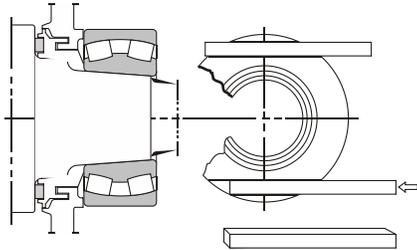
*Las figs. c) y d) muestran el método de desmontaje utilizando extractores. En ambos casos, las mandíbulas del extractor se deben apoyar firmemente en las caras del anillo interior.

*La fig.e) muestra un ejemplo de desmontaje mediante el uso de un calentador por inducción. Este método puede ser adoptado tanto para el montaje como para el desmontaje de los anillos interiores de los rodamientos de rodillos cilíndricos, de las series NU y NJ.

12.2 Cuadro 19: DESMONTAJE DE RODAMIENTOS CON AGUJERO CÓNICO.

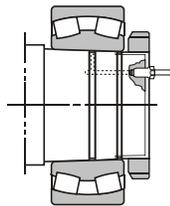
Métodos de desmontaje del anillo interior

Descripción.



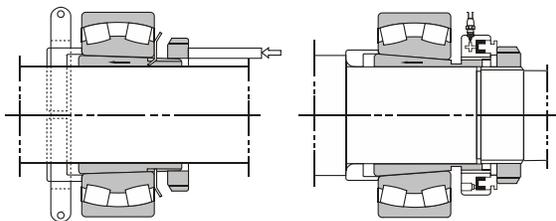
*La fig. a) muestra el sistema de desmontaje situando dos ranuras en la cara posterior del anillo del laberinto, para guiar las cuñas como se indica, pudiéndose entonces desmontar los rodamientos con facilidad aplicando las cuñas a las ranuras.

a)- Desmontaje mediante cuñas.



La fig. b) muestra el desmontaje aplicando alta presión de aceite entre las superficies. En ambos casos es necesario un medio de seguridad (ejemplo: contratuerca) para evitar la caída de los rodamientos una vez que salgan del eje (protección del operario).

b)- Desmontaje mediante presión de aceite.

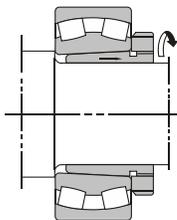


*Para los rodamientos con adaptador de manguito los siguientes dos métodos son recomendables.

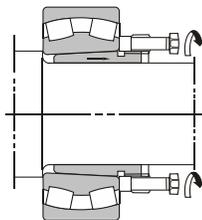
c)- Desmontaje con abrazadera.

d)- Desmontaje por tuerca hidráulica.

En la fig. c) se fija sobre el eje la misma abrazadera que se usó durante el montaje, se debe aflojar un poco la contratuerca y expulsar el manguito, golpéandolo con el martillo mediante un botador. Este método es usado para rodamientos de tamaño pequeño.



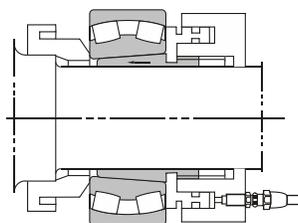
e)-Desmontaje usando contratuerca



f)-Desmontaje con tornillos.

La fig. d) muestra el método utilizando tuerca hidráulica.

*Para la extracción de pequeños rodamientos con manguitos de desmontaje, se aprieta la contratuerca tal como se indica en la fig. e) para sacar el manguito y dejar libre el rodamiento. Si el rodamiento es grande, la tuerca deberá llevar varios agujeros roscados, en los cuales entran los tornillos de manera como se muestra en la fig. f). De esta forma los rodamientos grandes pueden ser removidos casi tan fácilmente como los rodamientos de tamaño pequeño.



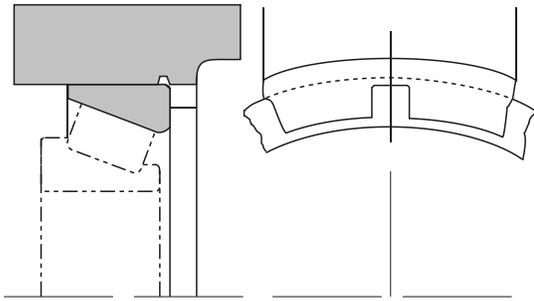
g)-Desmontaje a través de tuerca hidráulica

*La fig. g) muestra el método usando tuerca hidráulica.

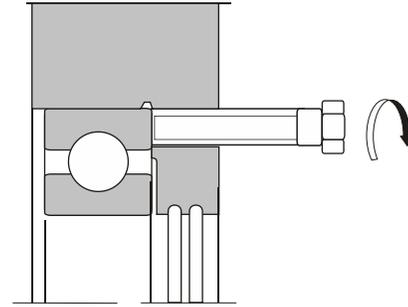


12.3 Cuadro 20: DESMONTAJE DE ANILLOS EXTERIORES.

Métodos de desmontaje del anillo exterior



a)- Ranuras para desmontaje.



b)- Taladros roscados para pernos usados en el desmontaje.

Descripción.

*Cuando en una aplicación se precise un ajuste de interferencia (apriete) en el anillo exterior o si el rodamiento queda inaccesible para la herramienta de desmontaje, entonces es útil disponer ranuras o taladros roscados alrededor del resalte del alojamiento, como se indica en la fig. a) y b). En el caso de que resulte difícil el montaje o el desmontaje del rodamiento, se deberá considerar cambiar el tipo de rodamiento, o el diseño del eje o del alojamiento.

13. JUEGO INTERNO DE LOS RODAMIENTOS

13.1 Definición

El juego interno del rodamiento se define como la distancia en que se puede mover ya sea el aro interno o aro externo cuando está inmobilizado el otro aro. Si el movimiento es en la dirección radial (ambos sentidos) entonces se llama juego radial interno y si es en la dirección axial (ambos sentidos) entonces se trata del juego axial interno.

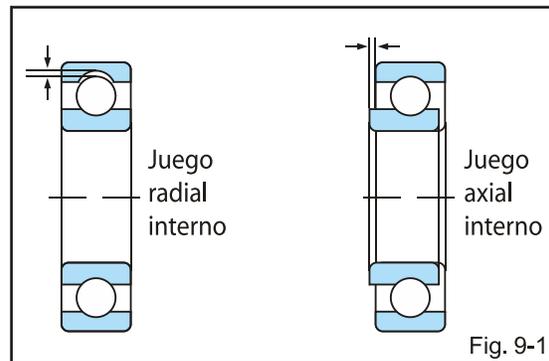


Fig. 9-1

Si se conoce el valor del juego radial interno de un rodamiento, se puede calcular también su juego axial interno a través de fórmulas mostradas abajo.

Rodamientos rígidos de bolas

$$\Delta a = \sqrt{\Delta r(4m_o - \Delta r)}$$

Rodamientos de doble hilera de bolas con contacto angular

$$\Delta a = 2\sqrt{m_o^2 - (m_o \cos \alpha - \Delta r/2)^2} - 2 m_o \sin \alpha$$

Rodamientos de bolas con contacto angular apareados

$$\Delta a = 2 m_o \sin \alpha - 2\sqrt{m_o^2 - (m_o \cos \alpha + \Delta r/2)^2}$$

Rodamientos de rodillos cónicos de doble/cuatro hileras y apareados

$$\Delta a = \Delta r \cot \alpha / (1.5/e \Delta r)$$

Donde... Δa = juego axial interno (mm) Δr = juego radial interno (mm)

e = valor límite de F_a/F_r (mostrado en tablas de especificaciones) α = ángulo de contacto $m_o = r_e + r_i - Da$

Siendo r_e = radio de curvatura del camino de rodadura externo (mm), r_i = radio de curvatura del camino de rodadura interno (mm),

Da = diám. bolas (mm)

La relación entre el juego radial y axial en los rodamientos rígidos de bolas de doble hilera de contacto angular o apareados puede verse gráficamente en las figuras 9-2 y 9-3

Fig. 9-2 Relación entre el Juego radial y axial interno en rodamientos rígidos de bolas

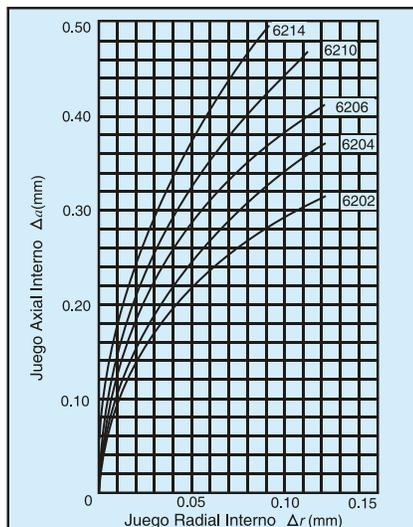
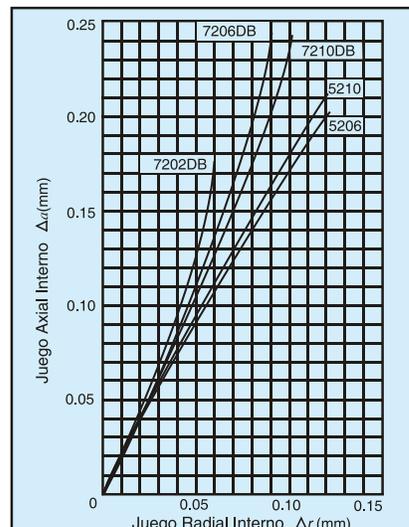


Fig. 9-3 Relación entre el Juego radial y axial interno en rodamientos de bolas de contacto angular de doble hilera o apareados





Cuadro 21: Juego radial interno de los rodamientos de bolas (agujero cilíndrico). Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego radial interno									
		C 2		C N		C 3		C 4		C 5	
Más de	Hasta	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
2.5	6	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
6	10	0	7	2	13	8	23	14	29	20	37
10	18	0	9	3	18	11	25	18	33	25	45
18	24	0	10	5	20	13	28	20	36	28	48
24	30	1	11	5	20	13	28	23	41	30	53
30	40	1	11	6	20	15	33	28	46	40	64
40	50	1	11	6	23	18	36	30	51	45	73
50	65	1	15	8	28	23	43	38	61	55	90
65	80	1	15	10	30	25	51	46	71	65	105
80	100	1	18	12	36	30	58	53	84	75	120
100	120	2	20	15	41	36	66	61	97	90	140
120	140	2	23	18	48	41	81	71	114	105	160
140	160	2	23	18	53	46	91	81	130	120	180
160	180	2	25	20	61	53	102	91	147	135	200
180	200	2	30	25	71	63	117	107	163	150	230
200	225	2	35	25	85	75	140	125	195	175	265
225	250	2	40	30	95	85	160	145	225	205	300
250	280	2	45	35	105	90	170	155	245	225	340
280	315	2	55	40	115	100	190	175	270	245	370
315	355	3	60	45	125	110	210	195	300	275	410
355	400	3	70	55	145	130	240	225	340	315	460

Nota 1) Para el cálculo del juego interno, se deberán añadir los factores de corrección que se especifican a continuación, debido al juego radial que se origina en el momento de aplicar la carga al rodamiento.
Para los factores de corrección de juego interno de la columna C2, el valor menor se le aplicará al juego mínimo, el valor mayor para el juego interno máximo.
2) Los valores escritos en *itálica* están basados en las normas Koyo.

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Medida de la carga N	Cantidad de la corrección del juego, μm				
			C 2	C N	C 3	C 4	C 5
Más de	Hasta						
2.5	18	24.5	3 - 4	4	4	4	4
18	50	49	4 - 5	5	6	6	6
50	280	147	6 - 8	8	9	9	9

Cuadro 21.1: Juego radial interno de los rodamientos de bolas miniatura y extraminiatura Unidad: μm

Código del juego interno	M 1		M 2		M 3		M 4		M 5		M 6	
	Mín.	Máx.										
Juego	0	5	3	8	5	10	8	13	13	20	20	28

[Nota] Para la corrección en la medición del juego deberán añadirse las siguientes cantidades.

Medida de la carga N	Cantidad de la corrección del juego, μm					
	M 1	M 2	M 3	M 4	M 5	M 6
2.3	1	1	1	1	1	1

Para rodamientos de bolas extrapequeños: 9 mm o más en diámetro exterior y menos de 10 mm en diámetro interior.
Para rodamientos miniatura : menos de 9 mm de diámetro exterior.

Cuadro 22: Juego radial interno de los rodamientos de bolas autoalineables.

1) Agujero Cilíndrico

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal d (mm)		Juego Radial Interno									
		C2		Estándar		C3		C4		C5	
Más de	Hasta	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
2.5	6	1	8	5	15	10	20	15	25	21	33
6	10	2	9	6	17	12	25	19	33	27	42
10	14	2	10	6	19	13	26	21	35	30	48
14	18	3	12	8	21	15	28	23	37	32	50
18	24	4	14	10	23	17	30	25	39	34	52
24	30	5	16	11	24	19	35	29	46	40	58
30	40	6	18	13	29	23	40	34	53	46	66
40	50	6	19	14	31	25	44	37	57	50	71
50	65	7	21	16	36	30	50	45	69	62	88
65	80	8	24	18	40	35	60	54	83	76	108
80	100	9	27	22	48	42	70	64	96	89	124
100	120	10	31	25	56	50	83	75	114	105	145
120	140	10	38	30	68	60	100	90	135	125	175
140	160	15	44	35	80	70	120	110	161	150	210

2) Agujero Cónico

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal d (mm)		Juego Radial Interno									
		C2		Estándar		C3		C4		C5	
Más de	Hasta	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
18	24	7	17	13	26	20	33	28	42	37	55
24	30	9	20	15	28	23	39	33	50	44	62
30	40	12	24	19	35	29	46	40	59	52	72
40	50	14	27	22	39	33	52	45	65	58	79
50	65	18	32	27	47	41	61	56	80	73	99
65	80	23	39	35	57	50	75	69	98	91	123
80	100	29	47	42	68	62	90	84	116	109	144
100	120	35	56	50	81	75	108	100	139	130	170
120	140	40	68	60	98	90	130	120	165	155	205
140	160	45	74	65	110	100	150	140	191	180	240

Cuadro 23: Juego radial interno de los rodamientos para motores eléctricos.

1) Rodamientos Rígidos de Bolas

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego Radial Interno	
		CM	
Más de	Hasta	Min.	Máx.
10 ¹⁾	18	4	11
18	30	5	12
30	50	9	17
50	80	12	22
80	120	18	30
120	160	24	38

Nota: 1) 10mm está incluido.

2) Rodamientos de Rodillos Cilíndricos

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego Radial Interno			
		Intercambiable CT		No Intercambiable CM	
Más de	Hasta	Min.	Máx.	Min.	Máx.
24	40	15	35	15	30
40	50	20	40	20	35
50	65	25	45	25	40
65	80	30	50	30	45
80	100	35	60	35	55
100	120	35	65	35	60
120	140	40	70	40	65
140	160	50	85	50	80
160	180	60	95	60	90
180	200	65	105	65	100

Nota: Intercambiable solamente con productos del mismo fabricante.



Cuadro 24: Juego radial interno de los rodamientos de bolas de doble hilera de contacto angular.

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego Radial Interno					
		CD 2		Estándar		CD 3	
Más de	Hasta	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
2.5	10	0	7	2	10	8	18
10	18	0	7	2	11	9	19
18	24	0	8	2	11	10	21
24	30	0	8	2	13	10	23
30	40	0	9	3	14	11	24
40	50	0	10	4	16	13	27
50	65	0	11	6	20	15	30
65	80	0	12	7	22	18	33
80	100	0	12	8	24	22	38
100	120	0	13	9	25	24	42
120	140	0	15	10	26	25	44
140	160	0	16	11	28	26	46
160	180	0	17	12	30	27	47
180	200	0	18	14	32	28	48

Cuadro 25: Juego radial interno de los rodamientos de bolas de contacto angular apareados (medida del juego).

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Angulo de Contacto, 15%				Angulo de Contacto 30%								Angulo de Contacto 40%							
		Juego C2		Juego estándar		Juego C2		Juego estándar		Juego C3		Juego C4		Juego C2		Juego estándar		Juego C3		Juego C4	
Más de	Hasta	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
-	10	13	33	33	53	3	14	10	30	30	50	50	70	2	10	6	18	16	30	26	40
10	18	15	35	35	55	3	16	10	30	30	50	50	70	2	12	7	21	18	32	28	44
18	24	20	40	45	65	3	20	20	40	40	60	60	80	2	12	12	26	20	40	30	50
24	30	20	40	45	65	3	20	20	40	40	60	60	80	2	14	12	26	20	40	40	60
30	40	20	40	45	65	3	20	25	45	45	65	70	90	2	14	12	26	25	45	45	65
40	50	20	40	50	70	3	20	30	50	50	70	75	95	2	14	12	30	30	50	50	70
50	65	30	55	65	90	9	27	35	60	60	85	90	115	5	17	17	35	35	60	60	85
65	80	30	55	70	95	10	28	40	65	70	95	110	135	6	18	18	40	40	65	70	95
80	100	35	60	85	110	10	30	50	75	80	105	130	155	6	20	20	45	55	80	85	110
100	120	40	65	100	125	12	37	65	90	100	125	150	175	6	25	25	50	60	85	100	125
120	140	45	75	110	140	15	40	75	105	120	150	180	210	7	30	30	60	75	105	125	155
140	160	45	75	125	155	15	40	80	110	130	160	210	240	7	30	35	65	85	115	140	170
160	180	50	80	140	170	15	45	95	125	140	170	235	265	7	31	45	75	100	130	155	185
180	200	50	80	160	190	20	50	110	140	170	200	275	305	7	37	60	90	110	140	170	200

- Nota:** 1) El juego medido incluye el incremento del juego debido a la carga aplicada.
 2) El juego C2 se aplica a los rodamientos de bolas de contacto angular del tipo "G".



Cuadro 26: Juego radial interno de los rodamientos de rodillos esféricos.

(1) agujero cilíndrico

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego Radial Interno									
		C2		Estándar		C3		C4		C5	
Más de	Hasta	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
14	18	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75
18	24	10	20	20	35	35	45	45	60	60	75
24	30	15	25	25	40	40	55	55	75	75	95
30	40	15	30	30	45	45	60	60	80	80	100
40	50	20	35	35	55	55	75	75	100	100	125
50	65	20	40	40	65	65	90	90	120	120	150
65	80	30	50	50	80	80	110	110	145	145	180
80	100	35	60	60	100	100	135	135	180	180	225
100	120	40	75	75	120	120	160	160	210	210	260
120	140	50	95	95	145	145	190	190	240	240	300
140	160	60	110	110	170	170	220	220	280	280	350
160	180	65	120	120	180	180	240	240	310	310	390
180	200	70	130	130	200	200	260	260	340	340	430
200	225	80	140	140	220	220	290	290	380	380	470
225	250	90	150	150	240	240	320	320	420	420	520
250	280	100	170	170	260	260	350	350	460	460	570
280	315	110	190	190	280	280	370	370	500	500	630
315	355	120	200	200	310	310	410	410	550	550	690
355	400	130	220	220	340	340	450	450	600	600	750
400	450	140	240	240	370	370	500	500	660	660	820
450	500	140	260	260	410	410	550	550	720	720	900
500	560	150	280	280	440	440	600	600	780	780	1000
560	630	170	310	310	480	480	650	650	850	850	1100
630	710	190	350	350	530	530	700	700	920	920	1190
710	800	210	390	390	580	580	770	770	1010	1010	1300
800	900	230	430	430	650	650	860	860	1120	1120	1440
900	1000	260	480	480	710	710	930	930	1220	1220	1570

(2) agujero cónico

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego Radial Interno									
		C2		Estándar		C3		C4		C5	
Más de	Hasta	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
18	24	15	25	25	35	35	45	45	60	60	75
24	30	20	30	30	40	40	55	55	75	75	95
30	40	25	35	35	50	50	65	65	85	85	105
40	50	30	45	45	60	60	80	80	100	100	130
50	65	40	55	55	75	75	95	95	120	120	160
65	80	50	70	70	95	95	120	120	150	150	200
80	100	55	80	80	110	110	140	140	180	180	230
100	120	65	100	100	135	135	170	170	220	220	280
120	140	80	120	120	160	160	200	200	260	260	330
140	160	90	130	130	180	180	230	230	300	300	380
160	180	100	140	140	200	200	260	260	340	340	430
180	200	110	160	160	220	220	290	290	370	370	470
200	225	120	180	180	250	250	320	320	410	410	520
225	250	140	200	200	270	270	350	350	450	450	570
250	280	150	220	220	300	300	390	390	490	490	620
280	315	170	240	240	330	330	430	430	540	540	680
315	355	190	270	270	360	360	470	470	590	590	740
355	400	210	300	300	400	400	520	520	650	650	820
400	450	230	330	330	440	440	570	570	720	720	910
450	500	260	370	370	490	490	630	630	790	790	1000
500	560	290	410	410	540	540	680	680	870	870	1100
560	630	320	460	460	600	600	760	760	980	980	1230
630	710	350	510	510	670	670	850	850	1090	1090	1360
710	800	390	570	570	750	750	960	960	1220	1220	1500
800	900	440	640	640	840	840	1070	1070	1370	1370	1690
900	1000	490	710	710	930	930	1190	1190	1520	1520	1860



Cuadro 27: Juego radial interno de los rodamientos de rodillos cilíndricos y los rodamientos de agujas con anillo mecanizado.

(1) Rodamientos con agujero cilíndrico

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego interno									
		C 2		C N		C 3		C 4		C 5	
Más de	Hasta	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
250	280	55	125	125	195	190	260	260	330	370	440
280	315	55	130	130	205	200	275	275	350	410	485
315	355	65	145	145	225	225	305	305	385	455	535
355	400	100	190	190	280	280	370	370	460	510	600
400	450	110	210	210	310	310	410	410	510	565	665
450	500	110	220	220	330	330	440	440	550	625	735

Cuadro 28: Juego radial interno de los rodamientos de rodillos cónicos de doble hilera o apareados (agujero cilíndrico).

Unidad: μm

Diámetro Interior Nominal, d (mm)		Juego Radial Interno									
		C1		C2		Estándar		C3		C4	
Más de	Hasta	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
14	18	0	10	10	20	20	30	30	40	40	50
18	24	0	10	10	20	20	30	30	40	40	55
24	30	0	10	10	20	20	30	30	45	45	60
30	40	0	12	12	25	25	40	40	55	55	75
40	50	0	15	15	30	30	45	45	60	60	80
50	65	0	15	15	30	30	50	50	70	70	90
65	80	0	20	20	40	40	60	60	80	80	110
80	100	0	20	20	45	45	70	70	100	100	130
100	120	0	25	25	50	50	80	80	110	110	150
120	140	0	30	30	60	60	90	90	120	120	170
140	160	0	30	30	65	65	100	100	140	140	190
160	180	0	35	35	70	70	110	110	150	150	210
180	200	0	40	40	80	80	120	120	170	170	230
200	225	0	40	40	90	90	140	140	190	190	260
225	250	0	50	50	100	100	150	150	210	210	290
250	280	0	50	50	110	110	170	170	230	230	320
280	315	0	60	60	120	120	180	180	250	250	350
315	355	0	70	70	140	140	210	210	280	280	390
355	400	0	70	70	150	150	230	230	310	310	440
400	450	0	80	80	170	170	260	260	350	350	490
450	500	0	90	90	190	190	290	290	390	390	540
500	560	0	100	100	210	210	320	320	430	430	590
560	630	0	110	110	230	230	350	350	480	480	660
630	710	0	130	130	260	260	400	400	540	540	740
710	800	0	140	140	290	290	450	450	610	610	830
800	900	0	160	160	330	330	500	500	670	670	920

13.2 Selección del juego interno

La magnitud del juego de trabajo es un factor importante del cual dependen el funcionamiento y vida del rodamiento. A título ilustrativo se muestra en la figura 9-4 la relación entre el juego de trabajo y la vida de fatiga de un rodamiento de bolas típico y de un rodamiento de rodillos cilíndricos. En ambos casos puede verse que la vida de fatiga máxima se puede obtener con un juego de trabajo ligeramente negativo.

Sin embargo en la práctica resulta más seguro tratar de obtener un juego de trabajo algo superior, a la vista de las tolerancias admitidas en las dimensiones relacionadas, así como la variación temperatura del trabajo.

Para los rodamientos de bolas, el juego deseable es tal que el valor medio de la gama de juegos de trabajo quede del lado positivo, próximo a cero. Para los rodamientos de rodillos es deseable que el valor mínimo de la misma gama se encuentre en la misma zona.

Cuando se requiera una gran rigidez, o cuando sea necesario reducir al mínimo el ruido, entonces se especifica un juego reducido para que el juego de trabajo pueda quedar más del lado negativo, es decir que se obtenga una precarga. Por otra parte, generalmente se elige un juego superior al estándar cuando se prevea una temperatura de trabajo elevada.

Es importante elegir el juego antes del montaje de tal manera que se obtenga un juego de trabajo óptimo de acuerdo con las condiciones de trabajo específicas.

A continuación se describe el método para calcular el juego de trabajo para el caso de ejes y alojamientos de acero.

Juego de trabajo (S):

En general el juego de trabajo puede obtenerse mediante la siguiente fórmula

$$S = S_0 - (S_f + S_{t1} + S_{t2}) + S_w$$

Donde

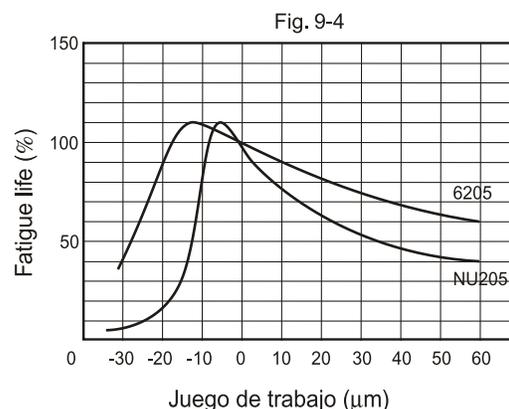
S_0 = Juego antes del montaje (mm)

S_w = Incremento del juego debido a la carga (mm)

S_f = Reducción de juego debido a la magnitud de interferencia (mm)

S_{t1} = Reducción de juego debido a la diferencia de temperatura entre los aros int. y ext. (mm)

S_{t2} = Reducción del juego debido a la expansión térmica de los elementos rodantes (mm)



Cuadro 29: Ejemplos de selección de juegos internos no estándares.

Condiciones de servicio	Aplicaciones	Selección del juego int.
En caso de cargas pesadas y cargas de impacto. Ajuste con gran interferencia	Muñón de ejes en carros ferroviarios	C3
En caso de cargas vibratorias, cargas de impacto. Ajuste de interferencia en ambos aros interno y externo.	-Cribas vibratorias -Motores de tracción de ferrocarriles -Caja reductora final de tractores	C3, C4 C4 C4
Cuando existe gran flexión de ejes	Ruedas en ejes tractores de automóviles	C5
Cuando el eje y aro interno son calentados	-Secadores en máquinas papeleras -Rodillos de mesas laminadoras	C3, C4 C3
Cuando existe ajuste deslizante en los aros interno y externo.	Cuellos de rodillos laminadores	C2
Cuando el ruido y la vibración durante el funcionamiento deben ser reducidos	Micro-motores eléctricos	C1, C2, CM
Cuando el juego interno debe ser ajustado con el fin de reducir la desviación del eje.	Husillos de máquinas-herramientas (Tornos)	C9NA, C1NA



14. AJUSTES DE LOS RODAMIENTOS

14.1 Propósito del ajuste.

El propósito del ajuste de los rodamientos es combinar el anillo interno y externo, con el eje o el alojamiento, de manera que se logre un ajuste adecuado entre ambos, para así impedir su deslizamiento, pues este deslizamiento desventajoso (llamado "arrastre"), produciría una generación de calor anormal y el desgaste de las superficies de ajuste, lo cual afectará el funcionamiento del rodamiento por contaminación de partículas, vibraciones, etc. Por esta razón, es necesario combinar los anillos del rodamiento bajo alta carga de rotación, con el eje o el alojamiento mediante un ajuste de interferencia (apriete),

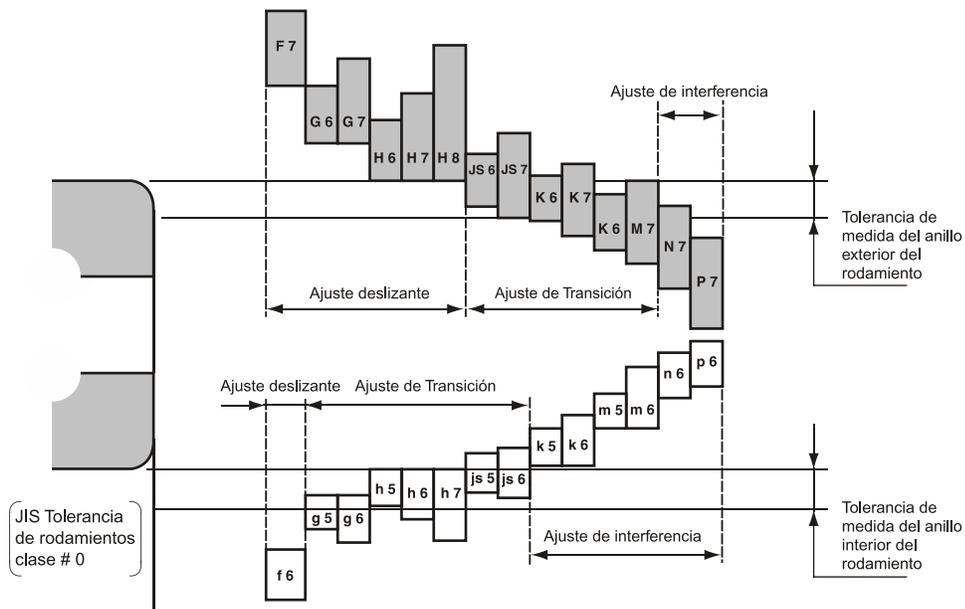
o bien un ajuste holgado si es conveniente para el funcionamiento de la maquinaria

14.2 Tolerancias y ajustes para ejes y alojamientos.

Para series de rodamientos métricos, las tolerancias para el diámetro del eje y el diámetro del agujero son estandarizadas por JIS B 0401 "límites y adaptaciones para ingeniería" en ISO 286.

Los ajustes de los rodamientos sobre los ejes y en los alojamientos, son determinados en tolerancias especificadas en la estandarización mencionada. La figura 13-1 muestra la relación entre las tolerancias para ejes y diámetros de agujeros de alojamientos con los ajustes para rodamientos de la clase 0 de tolerancia.

14.3 Relación de la gama de tolerancias para los ejes (mitad inferior) y para los alojamientos de los soportes (mitas superior) con los ajustes para rodamientos de la clase 0 de tolerancia.



14.4 Selección de ajustes.

Para la selección del ajuste adecuado, deben ser considerados los factores siguientes:

- *Dirección de la carga.
- *Características y magnitud de la carga.
- *Distribución de temperatura durante la operación
- *Juego interno de los rodamientos.
- *Acabado superficial, material y diámetro del eje y el alojamiento.
- *Métodos de montaje y desmontaje.
- *Necesidades de compensar la expansión térmica del eje en la superficie de ajuste.
- *Tipo y tamaño del rodamiento.

Selección de la Práctica de Ajuste.

1. Dirección de la Carga

La primera consideración que hay que hacer al elegir los ajustes en el eje y el alojamiento, es la dirección de la carga. La carga del rodamiento se puede dividir en tres tipos según su dirección: Carga giratoria en el anillo interior, carga giratoria en el anillo exterior, carga indeterminada.

a) Carga Giratoria en el Anillo Interior

La carga giratoria en el anillo interior es aquella que gira alrededor del camino de rodadura del anillo interior (considerada como carga circunferencial) durante una revolución del rodamiento, mientras queda fija en una posición (designada como carga puntual) en el camino de rodadura del anillo exterior. En este caso es probable que se produzca arrastre (mov. relativo) entre el anillo interior y el eje. Para impedir ésto, el anillo interior debe tener ajuste duro sobre

el eje, mientras que el ajuste en el alojamiento debe ser suave.

b) Carga Giratoria en el Anillo Exterior

En este caso la situación es inversa a la de la carga giratoria en el anillo interior. Por lo tanto es necesario utilizar un ajuste duro del anillo exterior en el alojamiento, mientras que el anillo interior puede tener un ajuste suave.

c) Carga Indeterminada

Cuando se añaden a la carga debida al peso del cuerpo rotativo una carga desequilibrada y/o una carga vibratoria, entonces la carga resultante es compleja tanto en dirección como en magnitud, por lo que se denomina "Carga indeterminada".

En este caso, a menudo es necesario emplear ajustes duros tanto en el anillo interior como en el exterior.

Cuadro 30: Ajustes Recomendados en los Ejes para Rodamientos Radiales¹⁾

Tipo de Carga	Diámetro del Eje (mm)			Símbolos de Tolerancias	Observaciones	Aplicaciones Típicas	
	Rodamientos de Bolas	Rodamientos de Rodillos Cilíndricos y Cónicos	Rod. de Rodillos Esféricos				
Rodamientos de Agujero Cilíndrico							
Carga giratoria en el anillo exterior	Anillo interior flotando con facilidad	Todos los diámetros del eje			g6	g5 y h5 se utilizan cuando se necesita alta precisión. Para rodamientos de gran dimensión puede utilizarse f6.	Ruedas sobre ejes fijos.
	Anillo interior no flotando con facilidad	Todos los diámetros del eje			h6		Poleas tensoras, poleas para cable.
Carga giratoria en anillo interior o carga indeterminada	Cargas ligeras y Cargas fluctuantes ($P \leq 0.06 C_e$)	Inferior a 18	—	—	h5	Para aplicaciones que exijan alta precisión se recomienda utilizar J5, K5 y m5 en lugar de j6, k6 y m6	Aparatos eléctricos, Máquinas herramientas, Bombas, Ventiladores, Transportadores.
		Más de 18 hasta 100	Inferior a 40	—	j6		
		Más de 100 hasta 200	Más de 40 hasta 140	—	k6		
		—	Más de 140 hasta 200	—	m6		
	Cargas normales y cargas pesadas ($P > 0.06 C_e$)	Inferior a 18	—	—	j6	En los rodamientos de rodillos cónicos de una hilera y en los rodamientos de bolas de contacto angular puede sustituirse k5 y m5 por k6 y m6, al no tener que considerarse la reducción de juego debida al ajuste de interferencia.	Motores eléctricos, Turbinas, Bombas, Motores de combustión interna, Máquinas para la madera.
		Más de 18 hasta 100	Inferior a 40	Inferior a 40	k5		
		Más de 100 hasta 200	Más de 40 hasta 100	Más de 40 hasta 65	m5		
		—	Más de 100 hasta 140	Más de 65 hasta 100	m6		
		—	Más de 140 hasta 200	Más de 100 hasta 140	n6		
		—	Más de 200 hasta 400	Más de 140 hasta 280	p6		
—	—	Más de 280	r6				
Cargas excepcionalmente pesadas y cargas de impacto ($P > 0.12 C_e$)	—	Más de 50 hasta 140	Más de 50 hasta 100	n6	El juego del rodamiento debe ser superior al estándar	Ejes de vagones de ferrocarril, Motores de tracción.	
	—	Más de 140 hasta 200	Más de 100 hasta 140	p6			
	—	Más de 200	Más de 140	r6			
Solamente cargas axiales	Todos los diámetros de eje			js6(j6)			

Nota: 1) Las tolerancias de ajuste indicadas se refieren a ejes macizos.