



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:

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

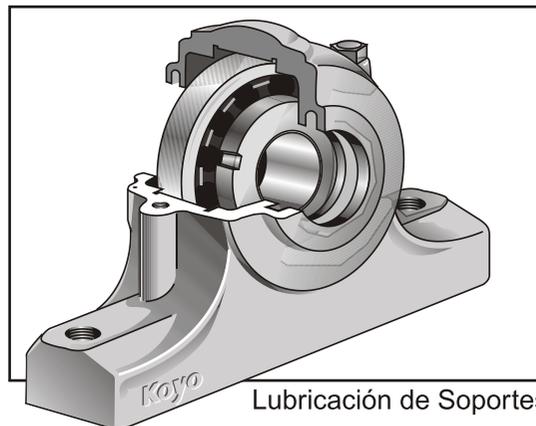
Para rodamientos de rodillos.

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

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.

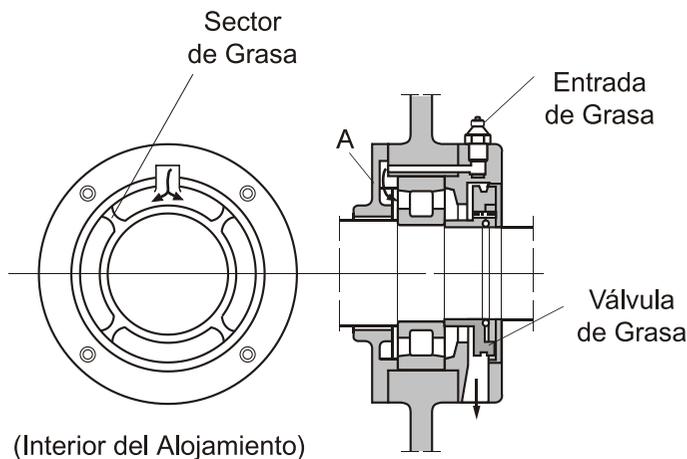
D - Diámetro exterior del rodamiento en milímetros.

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.

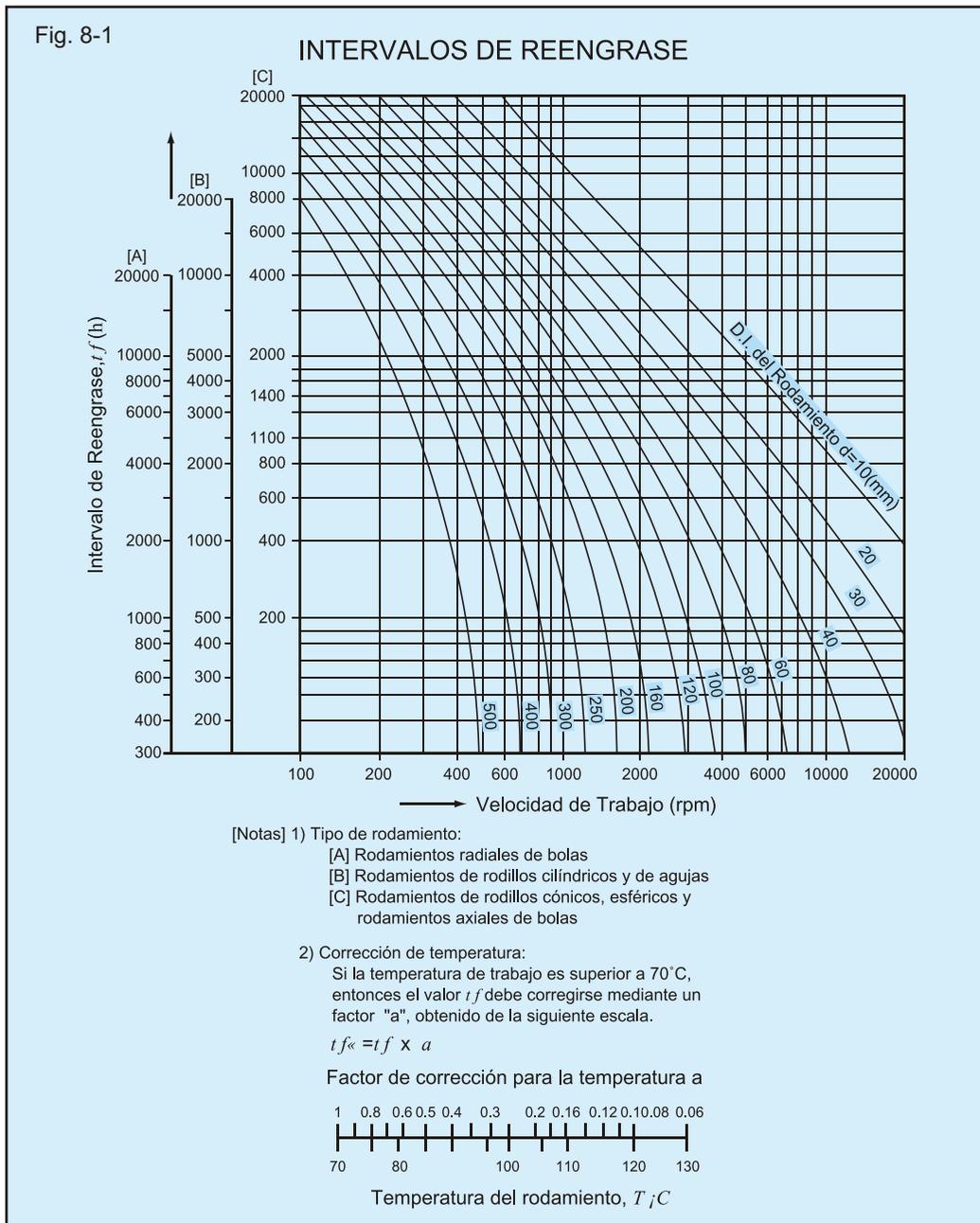
Dado que los intervalos de sustitución dependen en parte de la grasa, será necesario conocer bien el tipo y características de la grasa utilizada.

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/C_e
Si P/C_e es inferior a 0.05 utilizar $P/C_e = 0.05$.
Consultar al servicio de ingeniería de Koyo si P/C_e 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

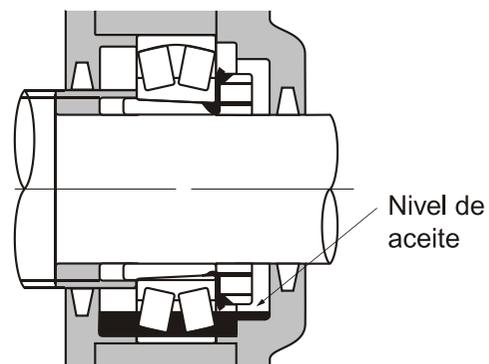
Características del aceite lubricante:

- *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



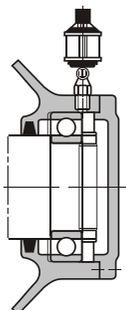
2- Goteo de aceite.

*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.



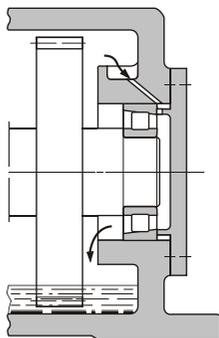
3- Salpicadura de aceite.

*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.

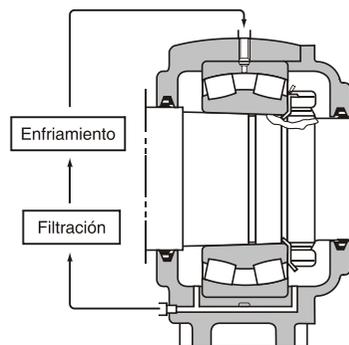
*Si hay peligro de que los rodamientos se contaminen con partículas metálicas procedentes de los engranajes, u otro tipo de suciedad, entonces es conveniente utilizar rodamientos con tapas de obturación.



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



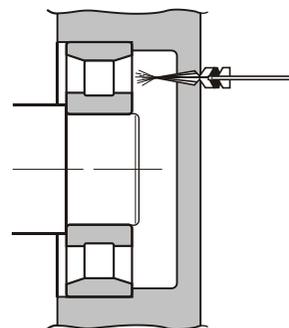
5- Lubricación por chorro de aceite.

*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 inyectores.



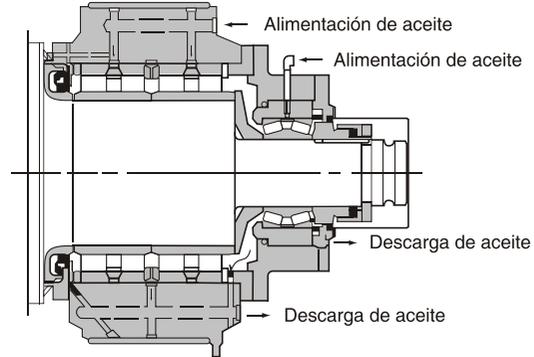
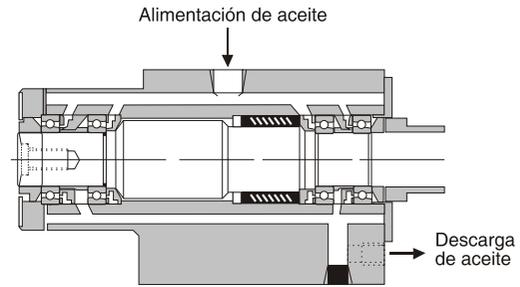
6- Lubricación por niebla de aceite.

*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.

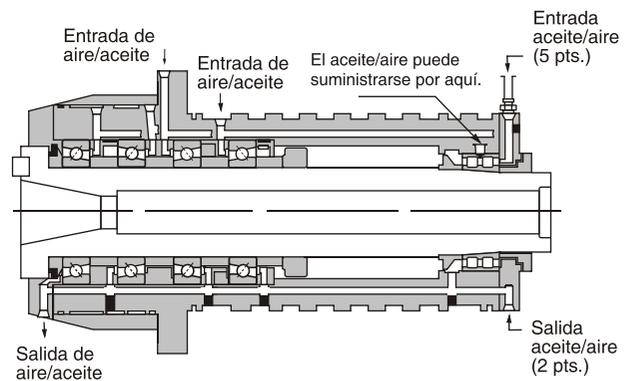
*Una bomba dosificadora envía una pequeña cantidad de aceite, que es combinado con aire comprimido por una válvula mezcladora.

*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.

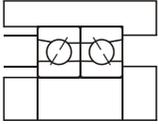
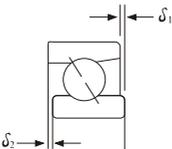
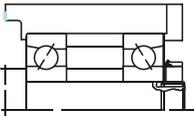
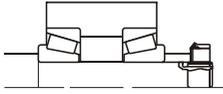
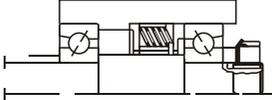
*El método de muelles (presión constante) permite aplicar una precarga más estable durante el trabajo, así como pequeñas variaciones en la magnitud de la carga. Esto es gracias a que el resorte puede absorber las fluctuaciones de carga y las diferencias de temperaturas entre el eje y el alojamiento durante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

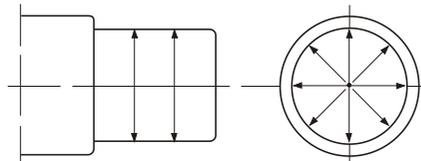
11.2 Inspección de ejes y alojamientos.

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

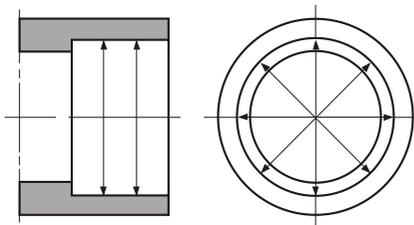
Limpiar cuidadosamente la superficie interior del alojamiento, para eliminar cualquier abrasivo, arena de fundición y virutas.

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



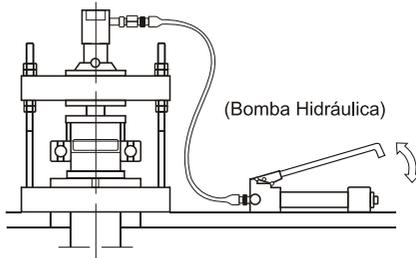
*Puntos de medición para el diámetro del alojamiento.



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

Métodos de Montaje

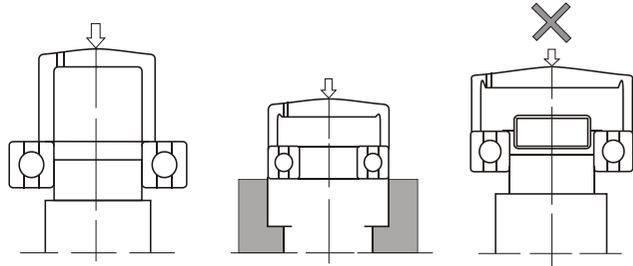
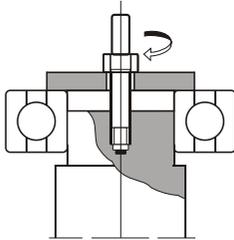
Descripción.



*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).

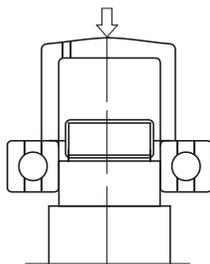


Presión en el anillo interior

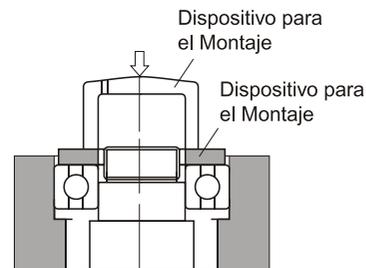
Presión en el anillo exterior

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.



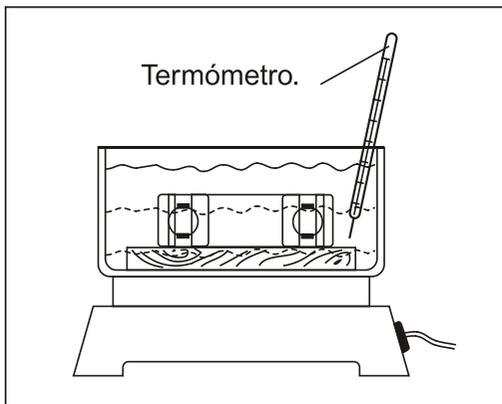
c)- Usando golpes.
(Solamente cuando no existe otra alternativa de montaje)

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.

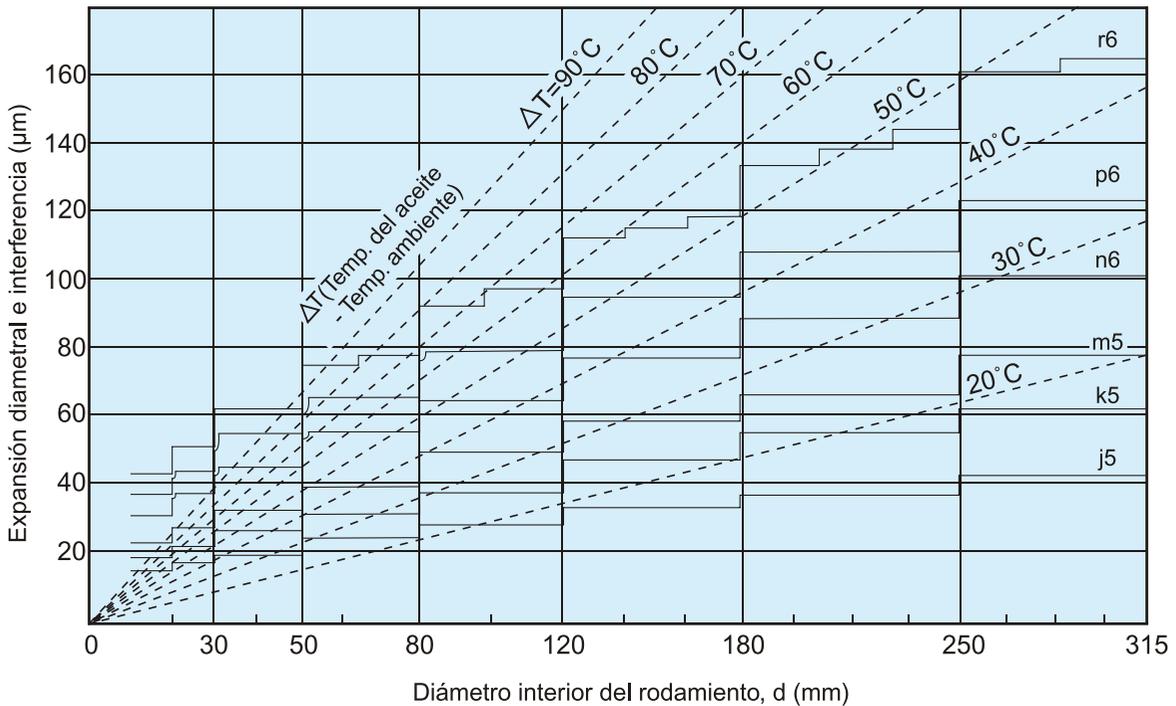


11.5 Fig. 11-1. Temperaturas de calentamiento para diferentes ajustes del anillo interno.

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:

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

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

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 .)

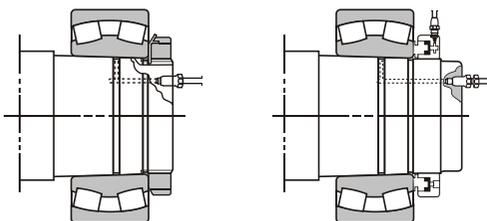
Condiciones	f_k .
*Presión de ajuste en los rodamientos para ejes cilíndricos.	4
*Remover rodamientos en ejes cilíndricos.	6
*Presión de ajuste de los rodamientos en ejes cónicos o manguitos cónicos.	5.5
*Remover rodamientos en ejes cónicos o manguitos cónicos.	4.5
*Presión de ajuste de manguitos cónicos,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



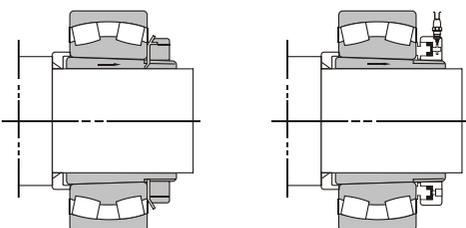
1- Contratuerca.

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.

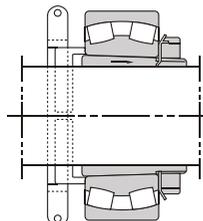
*Cuando es requerido un posicionamiento exacto de los rodamientos en los muñones (extremos de apoyo) del eje durante el montaje, use una abrazadera como ayuda para determinar el posicionamiento del rodamiento.

a)- Montaje en ejes Cónicos.



1-Contratuerca.

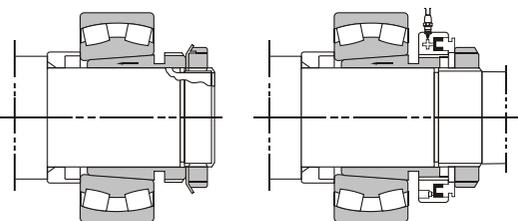
2-Tuerca hidráulica.



Posicionamiento del rodamiento usando abrazadera.

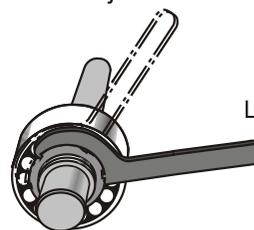
*Cuando montamos rodamientos en ejes, generalmente usamos contratuercas, utilizando llaves de tuerca para apretarlas. También podemos realizar el montaje usando tuercas hidráulicas.

b)- Montaje usando un manguito de montaje.



1-Contratuerca.

2-Tuerca hidráulica.



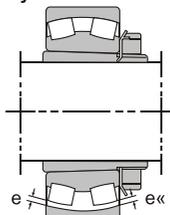
Llave de Tuerca

*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, CARACTERISTICAS Y MEDIDAS CORRECTIVAS.



DENOMINACION	RUIDO SIMILAR	CARACTERISTICAS	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS
Ruido de Brinelación	Sonido de sirena no muy claro.	Cíclico, como el ruido defectuoso a baja velocidad.	Marcas por brinelación en el camino de rodadura.	<ol style="list-style-type: none"> 1- Sustituir el rodamiento. 2- Comprobar y mejorar el procedimiento de montaje. 3- Eliminar el falso brinelado.
Ruido de Ajuste.	Ruido de tambor o martilleo.	<ol style="list-style-type: none"> 1- El ruido se produce en aquellas posiciones donde el ajuste es suave. 2- Frecuentemente tiene lugar cuando hay mucho juego. 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Desequilibrio dinámico de un cuerpo rotante. 2- Golpeteo entre superficie de ajuste debido a vibraciones de un cuerpo rotante generalizados desde el exterior. 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Revisar el sistema de ajuste. 2- Eliminar el desequilibrio existente. 3- Aplicar precarga.
Ruido de Caída de Rodillos.	Ruido de cascada (repiqueteo)	<ol style="list-style-type: none"> 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 rodadura en la zona sin carga	<ol style="list-style-type: none"> 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.	<ol style="list-style-type: none"> 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.	<ol style="list-style-type: none"> 1- Mejorar la lubricación. 2- Reducir el juego.
Ruido de Sessadura.	Como ruido de chirrido.	<ol style="list-style-type: none"> 1- No es cíclico. 2- No está relacionado con la velocidad. 3- No está relacionado con lubricación. 	Deslizamiento debido a sesgadura en los rodillos.	<ol style="list-style-type: none"> 1- Sustituir el rodamiento. 2- Revisar el juego. 3- Comprobar si hay desalineación en el montaje
Ruido de Descascarillado.	Ruido de Martilleo	<ol style="list-style-type: none"> 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	CARACTERISTICAS	CAUSAS	MEDIDAS CORRECTIVAS
Ruido en el Camino de Rodadura	Ducha	<ol style="list-style-type: none"> 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. 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Acabado inadecuado de la superficie del camino de rodadura. 2- Juego negativo. 3- Falta de lubricación. 4- Superficie del camino de rodadura aspera por causa de materias extrañas. 	<ol style="list-style-type: none"> 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.	<ol style="list-style-type: none"> 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.	<ol style="list-style-type: none"> 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 rotante. 	Defecto en el camino de rodadura o en los elementos rotantes.	<ol style="list-style-type: none"> 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 rana.	<ol style="list-style-type: none"> 1- No es uniforme ni cíclico. 2- Puede eliminarse limpiando bien el rodamiento. 3- No se altera con la velocidad. 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Limpieza inadecuada. 2- Materias extrañas en el lubricante. 	<ol style="list-style-type: none"> 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.	<ol style="list-style-type: none"> 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.