5 Mantenimiento de sistemas de apoyo de ejes

5.1 Introducción

- El apoyo soporta al eje y le permite moverse. Entre ambos aparecen fuerzas de contacto, que incluyen la fricción. El apoyo debe reducir al máximo la fricción y sus consecuencias: incremento de potencia necesaria, calor, desgaste.
- Dos tipos de sistemas de apoyo:
  - Cojinetes (de fricción): utilizan lubricante para separar eje y apoyo, eliminando el contacto metal-metal; el rozamiento seco se sustituye por fricción viscosa.
  - Rodamientos: colocan elementos rodantes entre eje y apoyo, cambiando los contactos con rozamiento por contactos con rodadura; incluyen lubricación.

5.1 Introducción

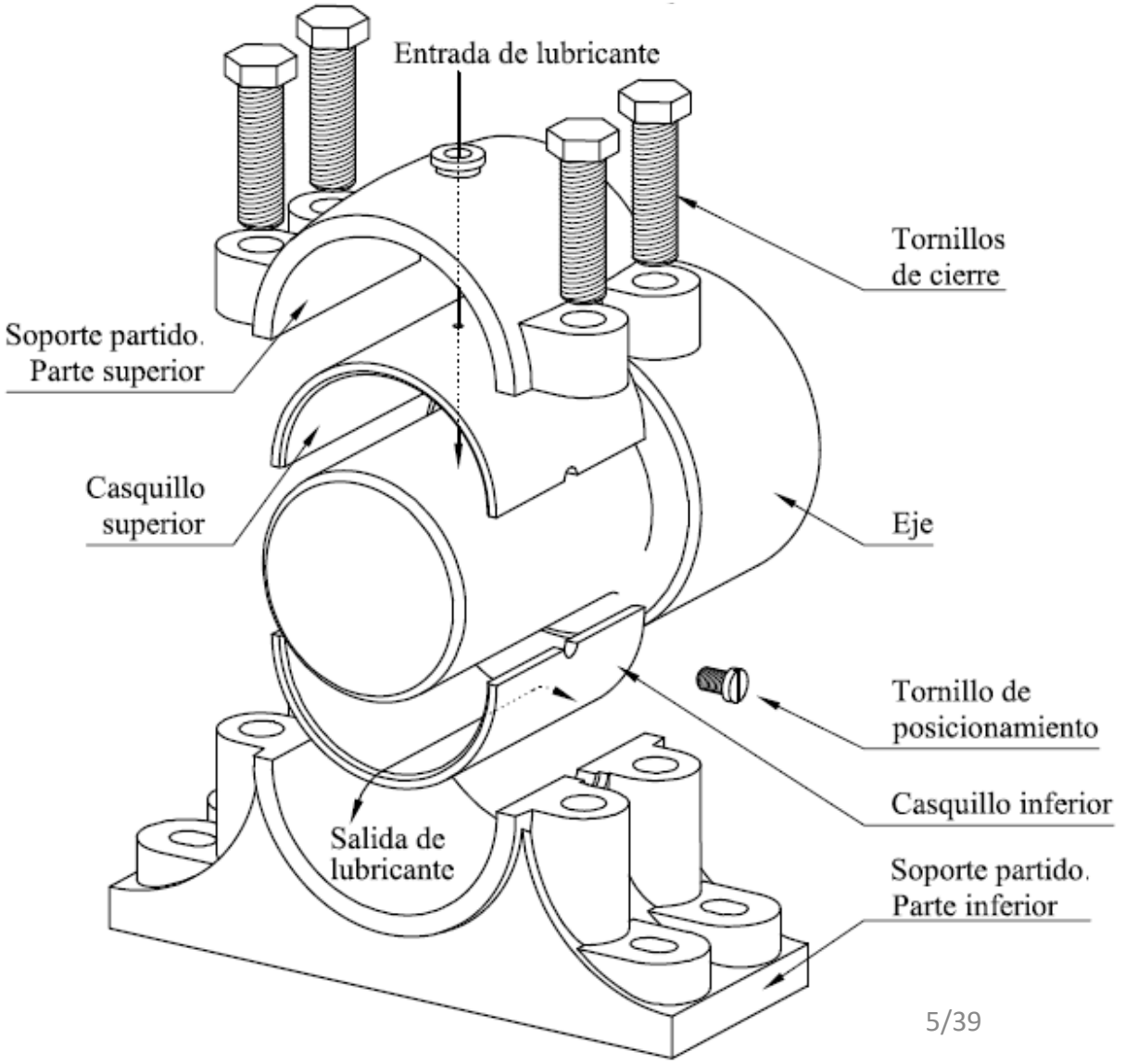
- Cojinetes y rodamientos son muy diferentes, y se emplean en distintas aplicaciones.
- La elección depende de velocidad, carga, espacio disponible, etc.
  - Cojinetes: grandes máquinas que operan a alta velocidad con cargas elevadas (turbinas de vapor).
  - Rodamientos: velocidades moderadas, posicionamiento preciso del eje, ausencia de sistema de lubricación en la máquina (salvo máquinas pequeñas).
- Según el movimiento relativo entre eje y apoyo, y el tipo de carga:
  - Radiales: movimiento relativo de rotación, carga radial y algo de axial.
  - De empuje: movimiento relativo de rotación, carga axial.
  - Guías: movimiento relativo de traslación (o rotación), diversos tipos de carga.

5.1 Introducción

Característica	Cojinetes de fricción	Rodamientos
Ensamblado en configuraciones extrañas (por ej. cigüeñal)	**Sencillo (cojinetes partidos)**	Imposible
Coste	**Relativamente bajo**	Relativamente elevado
Dureza requerida en el eje	Elevada	**Baja**
Peso	**Relativamente bajo**	Relativamente elevado
Rigidez requerida en el alojamiento	Elevada	**Baja**
Influencia de la fatiga en la vida del elemento	**Muy baja**	Elevada
Criticidad de la lubricación	Muy elevada	**Relativamente baja**
Ruido en operación	**Ninguno**	Mayor que en cojinetes
Tolerancia a la flexión del eje	**Elevada**	Baja (excepto rodamientos especiales)
Tolerancia a partículas de suciedad	**Elevada**	Baja
Espacio longitudinal requerido	Mayor que en rodamientos	**Pequeño**
Espacio diametral requerido	**Pequeño**	Mayor que en cojinetes
Fricción a baja velocidad	Elevada	**Muy baja**
Fricción a alta velocidad	**Moderada**	Relativamente elevada
Holgura radial	Mayor que en rodamientos	**Pequeña**

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

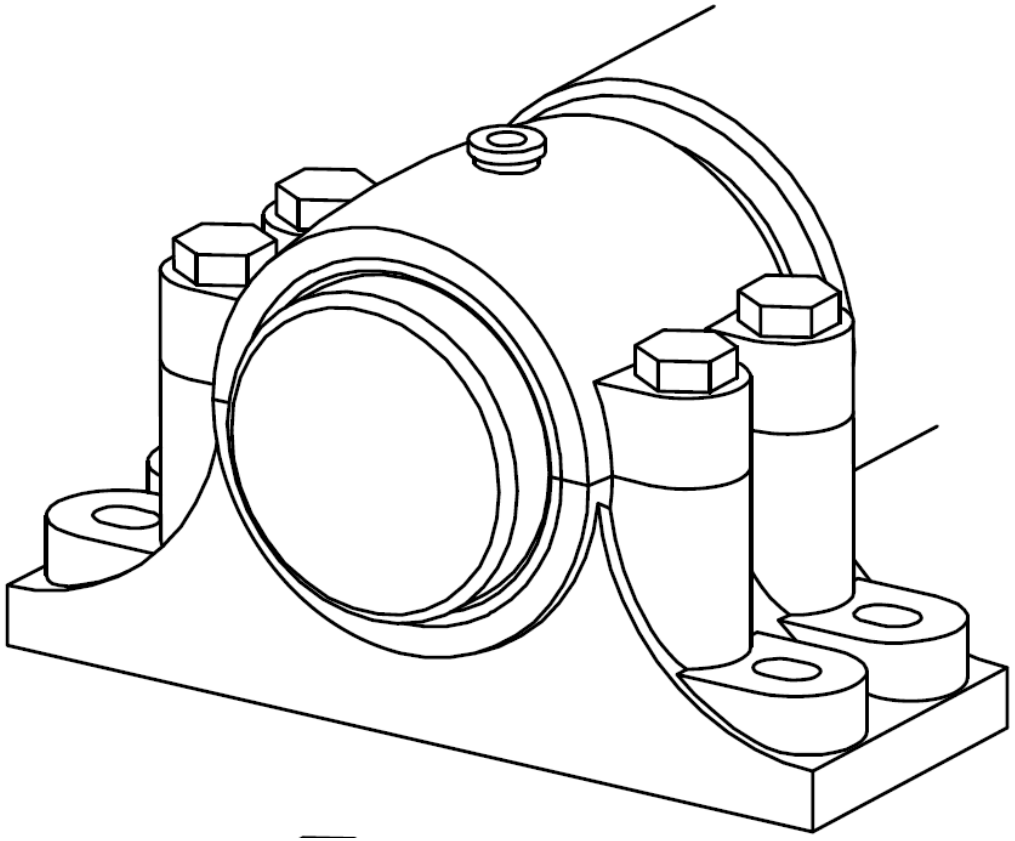
- Eje, soporte, y un elemento intermedio: el casquillo.
- El lubricante entra por gravedad desde arriba y sale lateralmente por abajo (zona de presión).
- Sistemas de posicionamiento.
- Fácil montaje y desmontaje.
- Eje y soporte duros, casquillo blando (es el que se desgasta y se puede sustituir: más barato).



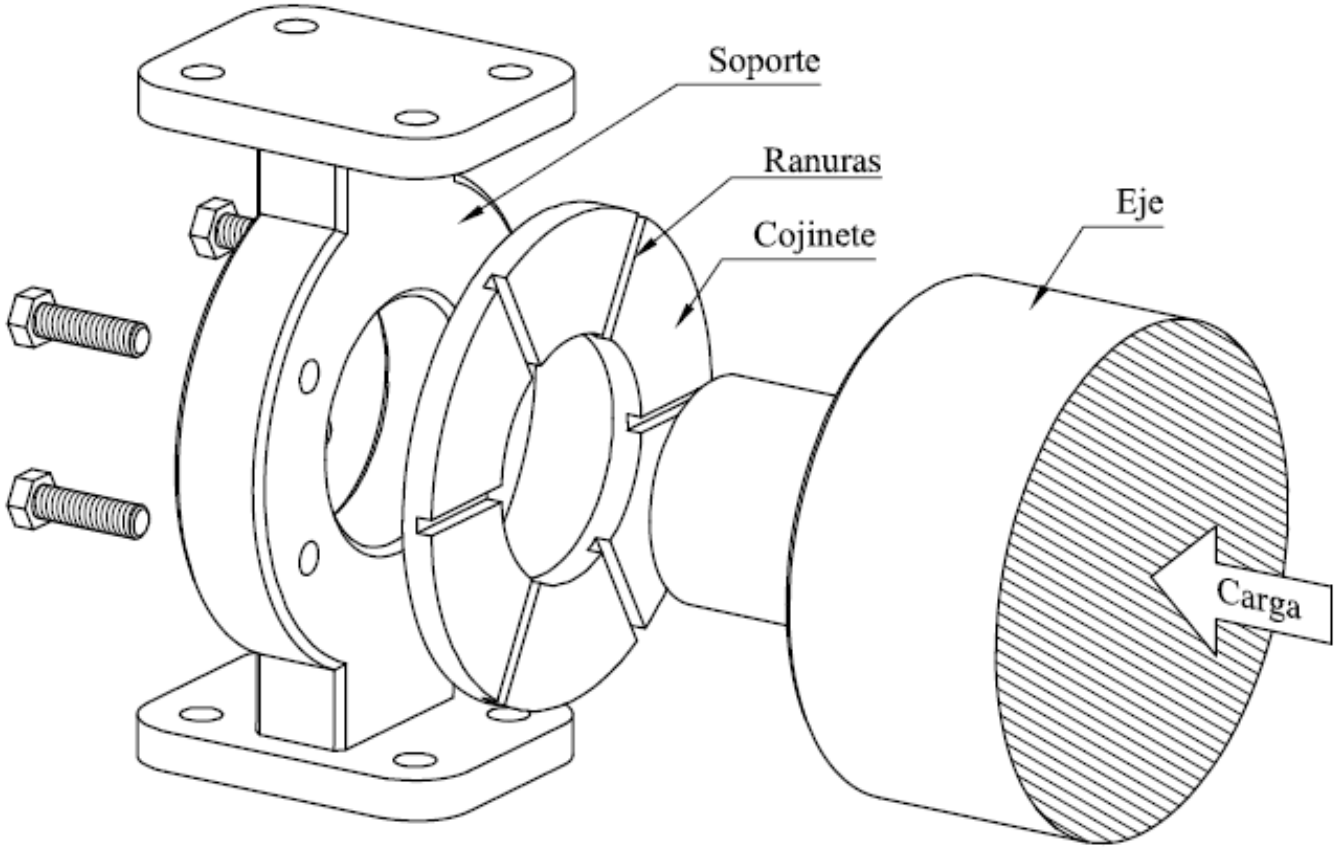
5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

- Tipos de cojinetes según la lubricación.
  - Cojinete externamente presurizado o hidrostático: soportan bien alta temperatura, vibraciones externas, suciedad y humedad.
  - Cojinete de sustentación hidrodinámica: baja tolerancia a la suciedad.
  - Cojinete auto-lubricado: materiales porosos que se llenan de lubricante y lo van liberando, no requieren aporte continuo; no para altas temperaturas.
  - Cojinete de fricción seca: lubricante sólido, soporta bien el vacío.
- Tipos de cojinetes según la carga soportada.
  - Radiales: normalmente fabricados en dos partes (figura anterior).
  - De empuje: hombros en el eje o collares que descansan en cojinetes anulares planos.

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción



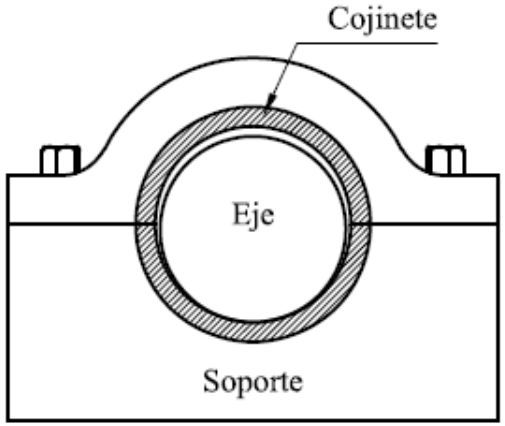
Cojinete radial



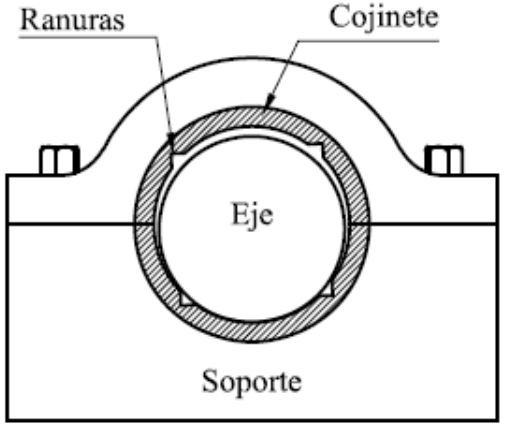
Cojinete de empuje

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

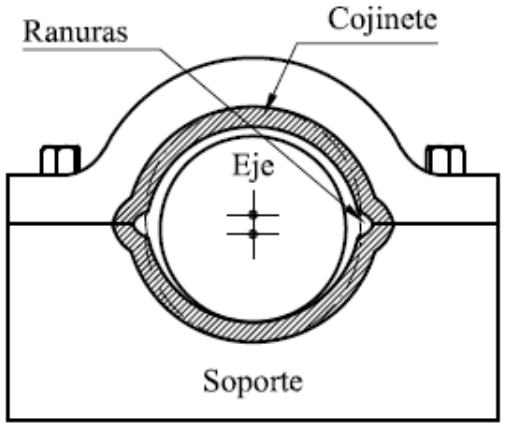
- Tipos de cojinetes radiales según su configuración geométrica.
  - Cojinete plano cilíndrico: muy simples, para baja velocidad.
  - Cojinete ranurado: el anterior con ranuras circunferenciales o axiales.
  - Cojinete elíptico: dos arcos de circunferencia cuyos centros no coinciden; rígido y estable.
  - Cojinete estabilizado con almohadillas: almohadillas o zapatas sobre pivotes; para alta velocidad.



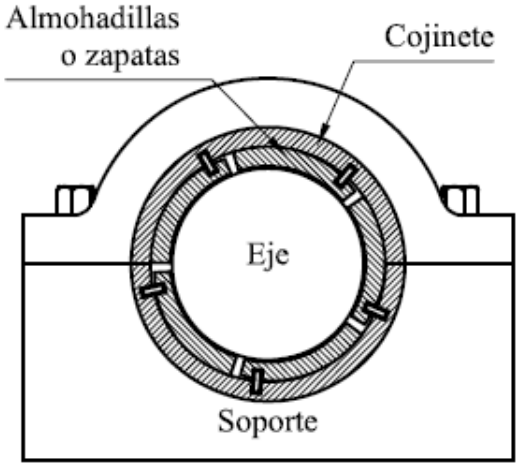
(a) Cojinete plano cilíndrico



(b) Cojinete ranurado en 4 ejes



(c) Cojinete elíptico



(d) Cojinete con almohadillas

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

- Materiales.
  - La selección del material es fundamental, ya que existe un contacto potencial entre dos superficies metálicas: bajo coeficiente de rozamiento, eje duro y cojinete blando (se preserva el eje).
  - Requerimientos del material del casquillo:
    - Compatibilidad o resbalamiento: capacidad de no griparse al contactar con el eje.
    - Incrustabilidad: capacidad de absorber partículas que están en el lubricante.
    - Conformabilidad: compensación de irregularidades geométricas por deformación.
    - Resistencia a la fatiga: resistencia ante cargas variables.
    - Resistencia a la temperatura: la temperatura asciende durante el funcionamiento.
    - Conductividad térmica: para disipar el calor generado.
    - Resistencia a la corrosión: por la oxidación del lubricante con el uso.

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

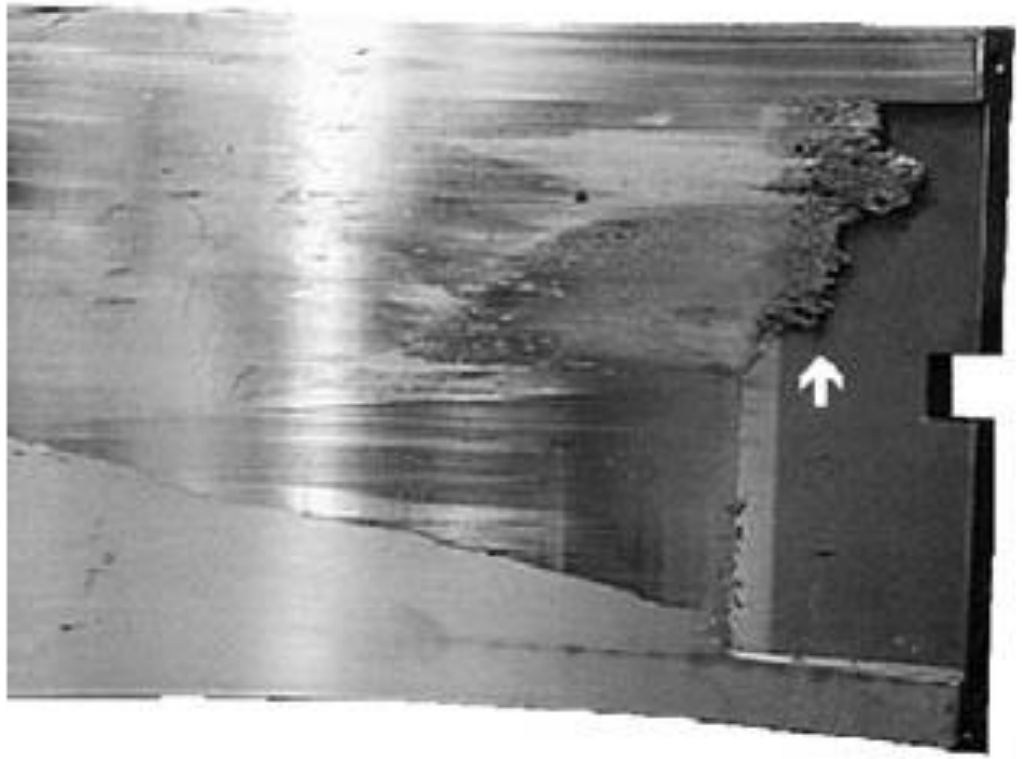
- En general, se emplean materiales metálicos, aunque en máquinas pequeñas también se utilizan plásticos y otros materiales sintéticos.
- En la actualidad, se fabrican cojinetes con varias capas de metales diferentes para mejorar sus características.
  - Cojinetes de 1 capa: tubo de aluminio o aleación de bronce; para poca carga.
  - Cojinetes de 2 capas: capa externa de acero y capa interna de babbit (aleación de plomo o estaño con aditivos), aleación de cobre y plomo, o aluminio. El babbit es muy bueno, salvo a fatiga.
  - Cojinetes de 3 capas: capa de material blando en el interior de un cojinete de dos capas.

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

- Tipos de fallo en cojinetes.
  - Los cojinetes son críticos para el mantenimiento porque se deterioran rápidamente y, con ello, también las condiciones de funcionamiento.
  - Los tipos de fallos más frecuentes son los siguientes:
    - Lubricación deficiente.
    - Abrasión.
    - Fatiga.
    - Erosión por cavitación.
    - Desgaste estático.
    - Fallos de fabricación y montaje.

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

- Lubricación deficiente.
  - Contacto, desgaste, calor.
  - Virutas de desgaste se funden, se sueldan, salen de la zona de presión, se enfrían y se depositan (posible bloqueo de ranuras).
  - Causas:
    - Las habituales: lubricante escaso, baja viscosidad, carga excesiva.
    - Desalineación.
    - Oscilación excesiva del eje por inestabilidad del cojinete.
    - Línea de carga cercana a una ranura.



5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

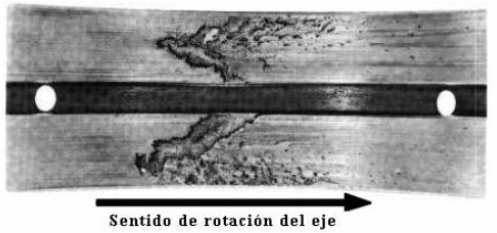
- Abrasión.
  - Partículas en cantidad o tamaño suficiente para contactar con ambas superficies, producen ralladuras.
  - Causa: incapacidad del lubricante para eliminar las partículas (filtros).
- Fatiga.
  - Se inicia con grietas normales a la superficie que luego se vuelven tangenciales: desconchado.
  - Causas:
    - Concentración de tensiones por las partículas.
    - Tolerancias excesivas en la fabricación.
    - Fallos en el ensamblado.
    - Pérdida de resistencia por temperatura o corrosión.

Abrasión

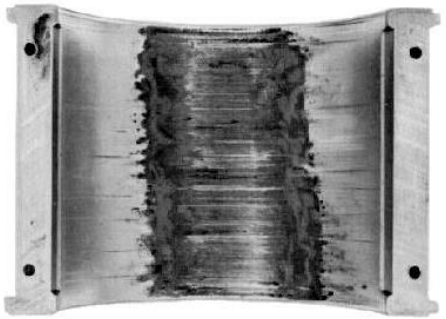
Fatiga

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

- Erosión por cavitación.
  - Fluctuaciones rápidas en la presión del lubricante.
  - Presión inferior a la de vapor -> burbujas, que colapsan cuando sube la presión y provocan que el lubricante golpee las superficies.
- Desgaste estático.
  - En cojinetes hidrodinámicos, cuando la máquina está parada y hay vibración.
  - Desgaste en la vertical del eje (gravedad), y no hacia el punto de mínimo espesor de película.
- Fallos de fabricación y montaje.
  - Gran diversidad: dimensiones, mecanizado de ranuras y orificios, suciedad entre casquillo y cojinete que aísla y provoca calentamientos locales.



Erosión por cavitación


Desgaste estático

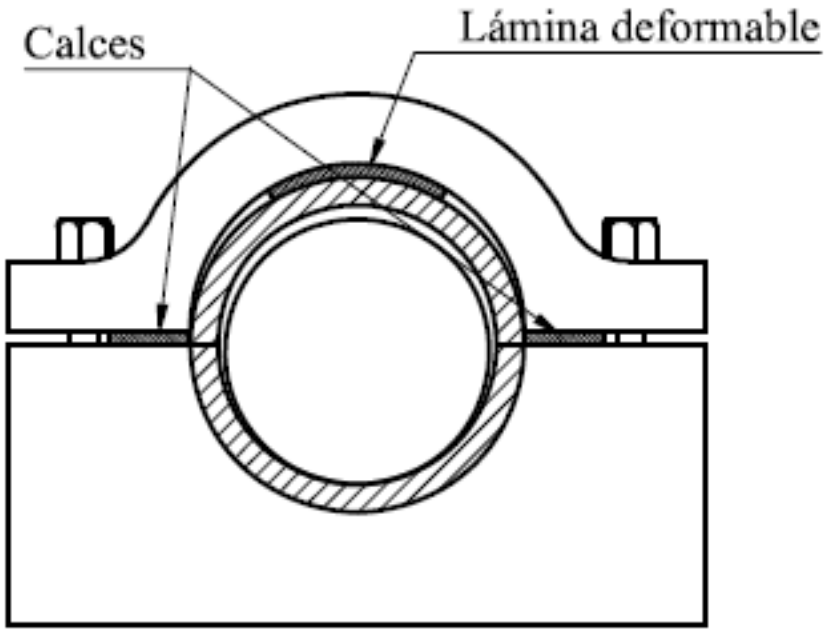
Calentamientos locales

5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

- Operaciones de mantenimiento y reacondicionado de cojinetes.
  - Es fácil que, en algún momento, se produzca una situación de inestabilidad que haga fallar al cojinete -> sustitución e investigación de la causa.
  - Inspección periódica: desmontaje y observación.
    - Asegurar la limpieza de la zona de trabajo.
    - Realizar un desmontaje ordenado. Los cojinetes se adaptan, por lo que habrá que recolocarlos como estaban: marcar las piezas y colocarlas sobre una superficie de la forma más parecida a como estaban ensambladas.
    - Limpieza e inspección del cojinete, para detectar los fallos mencionados antes.
    - Limpieza e inspección del eje: marcas de desgaste, verificar dimensión radial (tolerancias del orden de 25 μm) para evitar inestabilidades, pulido para eliminar adherencias.

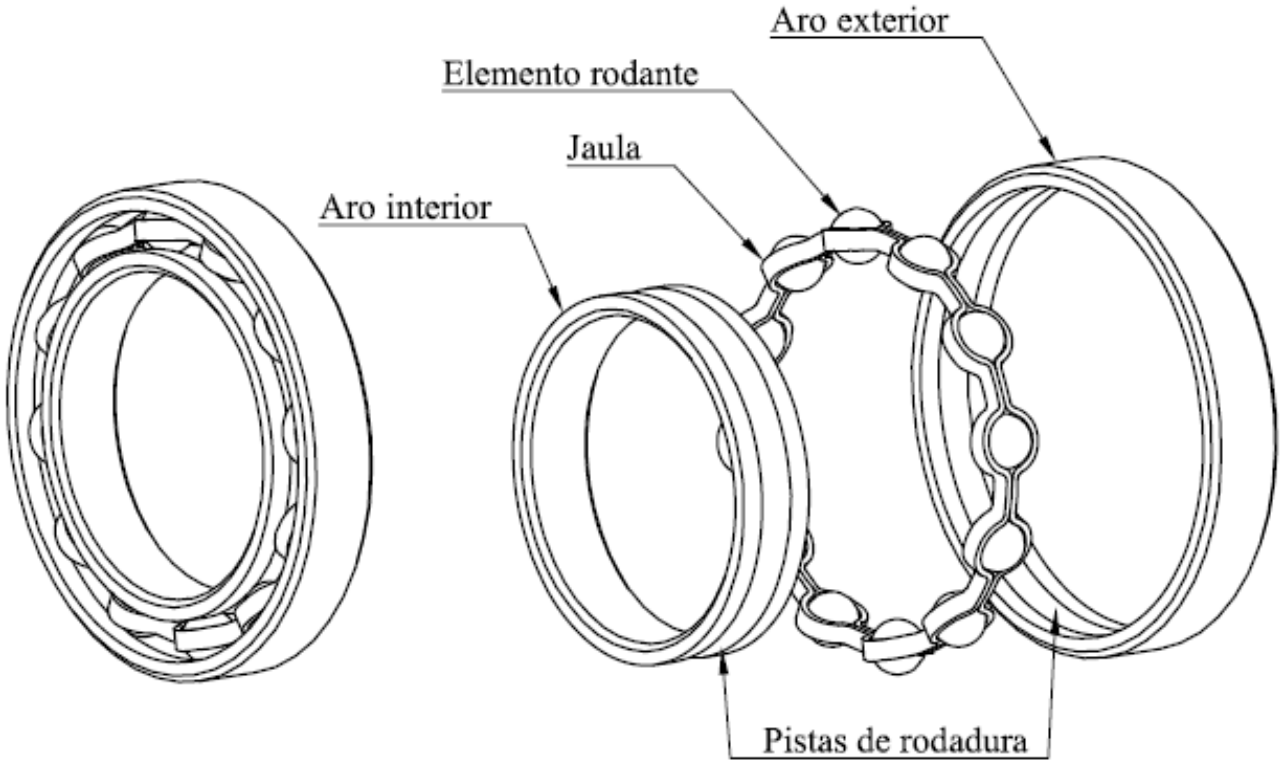
5.2 Mantenimiento de cojinetes de fricción

- Inspección del alojamiento del cojinete: cojinete y alojamiento deben coincidir en forma, verificar dimensiones (calces de 100 μm en junta del pedestal, lámina en la cima, apretar pernos, desmontar y medir espesor lámina: espesor de lámina menor que calces, interferencia soporte-casquillo; espesor de lámina mayor que calces, holgura que impide buena disipación del calor y permite el movimiento del casquillo; en ambos casos, reparar), limpieza.
- Ensamblado del conjunto: tarea crucial, repetir posición y orientación de piezas, pre-lubricar piezas antes de montar, girar el eje a mano (si es posible) para verificar que no hay interferencias, cuidar la limpieza para evitar entrada de partículas.



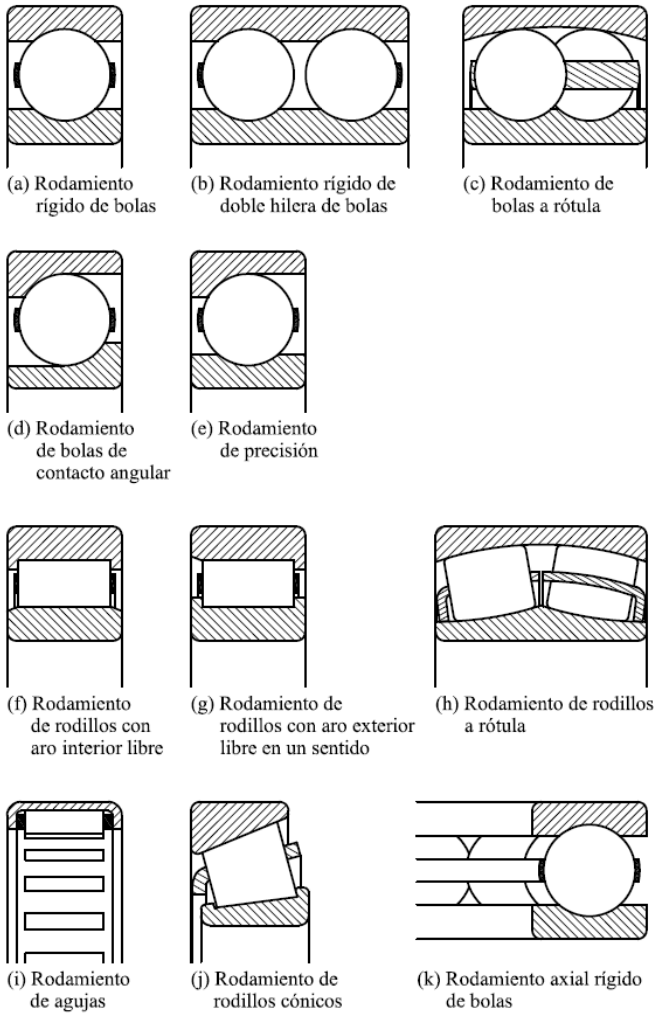
5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Elementos de un rodamiento.
  - Rodamientos: buena solución para baja fricción hasta velocidades moderadas.
  - Cuatro elementos básicos:
    - Aro interior.
    - Aro exterior.
    - Elementos rodantes: bolas, rodillos cilíndricos o cónicos.
    - Jaula: asegura la distribución de elementos rodantes en el perímetro.



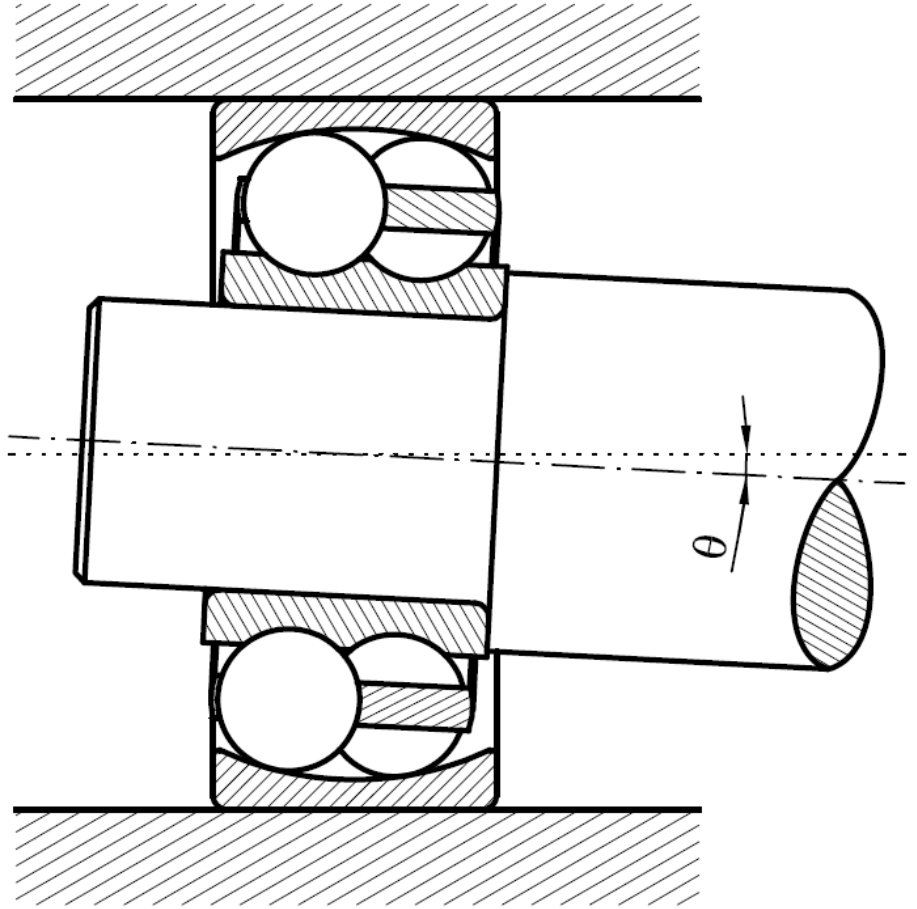
5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Tipos de rodamientos.
  - Radiales:
    - De bolas: carga radial y axial moderada.
      - Rígidos de bolas.
      - A rótula.
      - De contacto angular (y de precisión).
    - De rodillos: carga radial.
      - Rodillos.
      - Rodillos a rótula.
      - De agujas.
    - De rodillos cónicos: carga radial y axial.
  - Axiales: carga axial.
    - De bolas.
    - De rodillos (cilíndricos y cónicos).



5.3 Mantenimiento de rodamientos

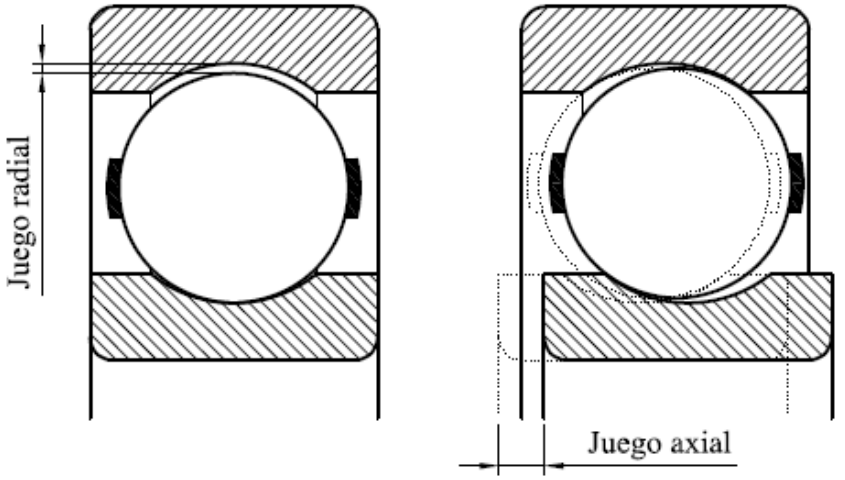
- Los rodamientos se seleccionan.
- Parámetros de selección:
  - Dimensiones.
  - Capacidad de carga: carga máxima para una vida útil esperada.
  - Capacidad dinámica de carga (según ISO): la máxima carga que el 90% de los rodamientos de un lote soporta durante, al menos, 1 millón de ciclos, antes de presentar el primer signo de fatiga.



Desalineación angular en rodamiento de bolas

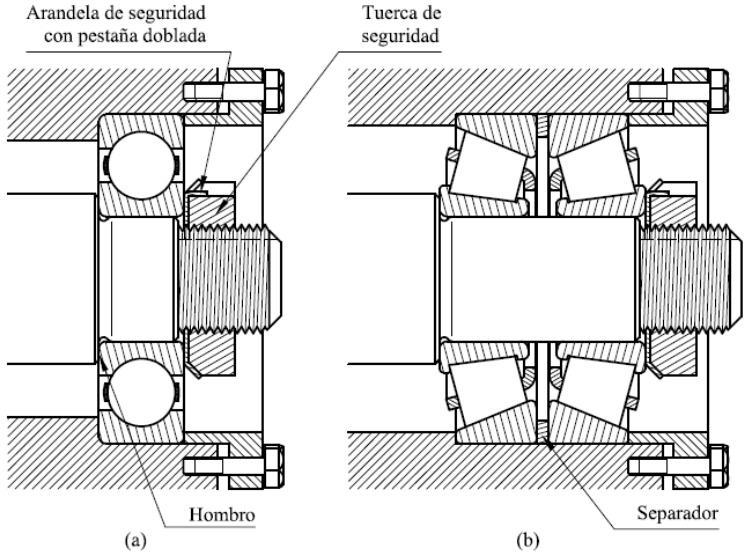
5.3 Mantenimiento de rodamientos

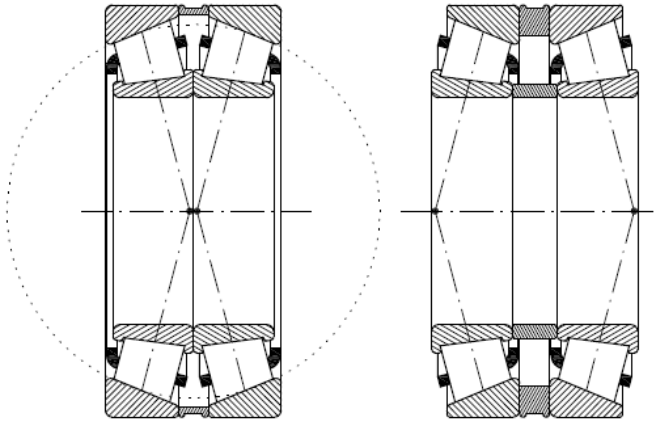
- Sistemas de fijación de rodamientos.
  - Fijación radial.
    - Se trata de fijar el aro al elemento que se mueve con respecto a la carga (normalmente, el aro interior al eje) y no fijar el aro al elemento que no se mueve respecto a la carga (normalmente, el aro exterior al apoyo).
    - La fijación de un aro a un elemento se hace por interferencia o ajuste a presión (proporcional al tamaño, necesidad de técnicas y herramientas para ello). Se deforman radialmente los elementos, motivo por el que los rodamientos se fabrican con holgura o juego interno.
    - Juego radial y axial: nulo o precarga en rodamientos de bolas, no nulo en rodillos cilíndricos, precarga en rodillos cónicos.



5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Fijación axial.
  - Rodamientos desmontables y no desmontables (con y sin desplazamiento axial interno, respectivamente).
  - Desmontables: sólo apoyos libres.
  - No desmontables: apoyos libres y fijos.
  - Eje con apoyos fijo-libre (isostático) o fijo-fijo (axialmente cruzado).
  - Apoyo fijo.
    - Aros sujetos por ambas caras.
    - Dos rodamientos juntos para soportar carga axial, y para obtener rigidez y precisión: montajes cara a cara y espalda contra espalda (más rígido); requieren precarga.



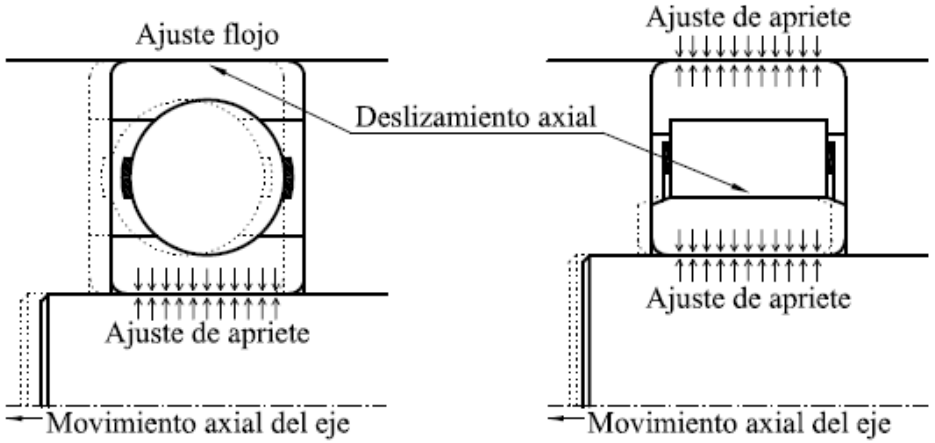


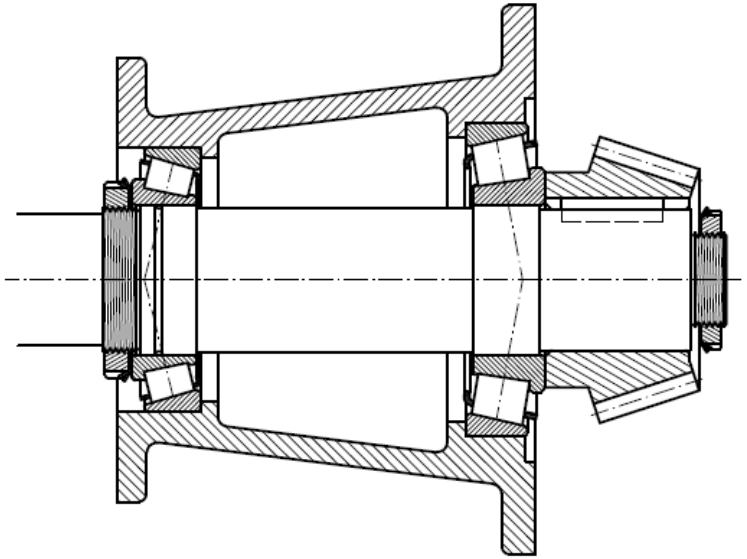
(a) Montaje cara a cara

(b) Montaje espalda contra espalda

5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Apoyo libre: para permitir deformaciones axiales por dilatación térmica o funcionamiento.
  - Rodamiento sin desplazamiento axial interno: permitir el desplazamiento axial de un aro.
  - Rodamiento con desplazamiento axial interno.
- Apoyo axialmente cruzado: con rodamientos que soportan cargas axiales.



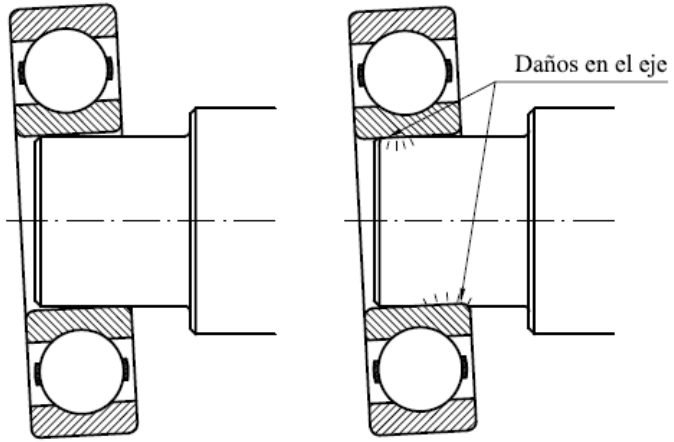


5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Montaje y desmontaje de rodamientos.
  - Recomendaciones.
    - No golpear nunca directamente al rodamiento (utilizar casquillos que repartan la carga por todo el aro).
    - Aplicar la fuerza sobre el aro con interferencia para no cargar los elementos rodantes. Si ambos aros tienen interferencia, emplear una herramienta que aplique la carga simultáneamente sobre los dos.
    - En grandes interferencias, aplicar calor de manera uniforme (calentador de inducción o inmersión en aceite caliente).
    - Limpieza para evitar partículas.

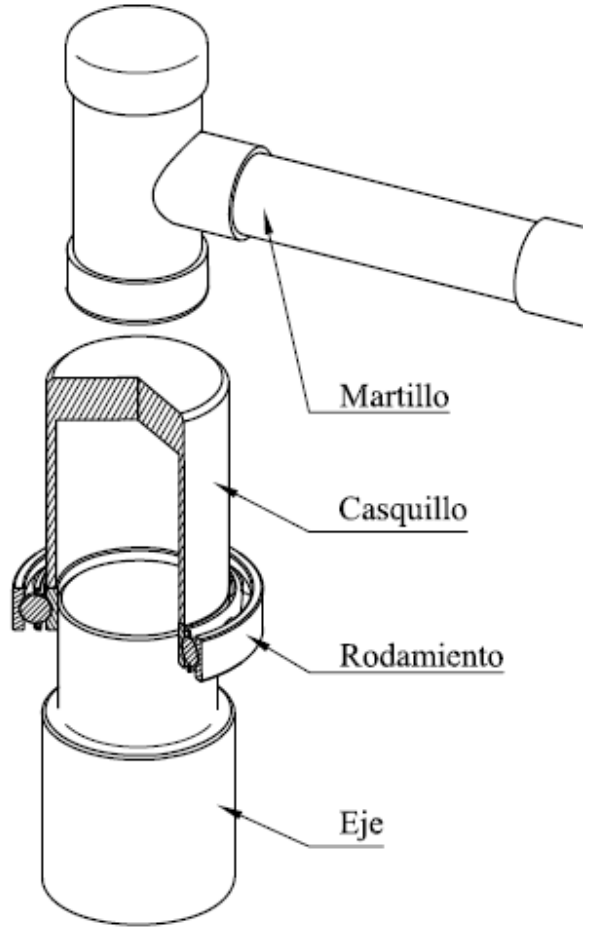
5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Montaje de rodamientos con agujero cilíndrico.
  - Montaje en frío. Ajustes a presión moderados. Martillo y casquillo de impacto blandos. Anillos para interferencia en ambos aros. Prensa para tarea repetitiva.
  - Montaje en caliente. Ajustes grandes. Se calienta el elemento unos 80-90ºC por encima de la temperatura del otro. No para rodamientos con protecciones u obturaciones. No pasar de 125ºC.
  - Montaje por enfriamiento. Nitrógeno líquido.



(a) Montaje en caliente con error de inclinación

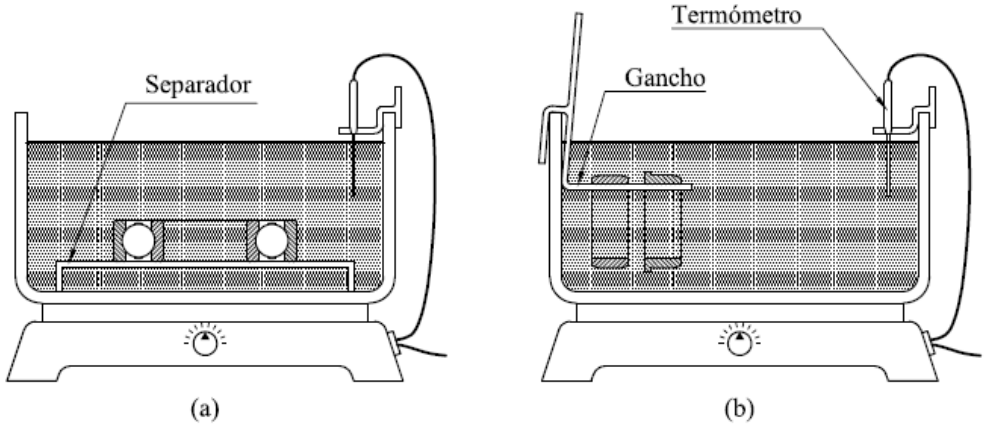
(b) El enfriamiento durante el montaje provoca daños en el eje



5.3 Mantenimiento de rodamientos

Estufa (rodamientos pequeños)

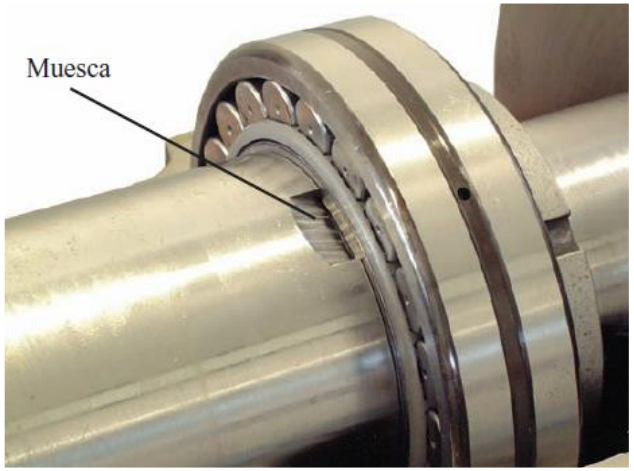
Calentador de inducción
(rodamientos medios)

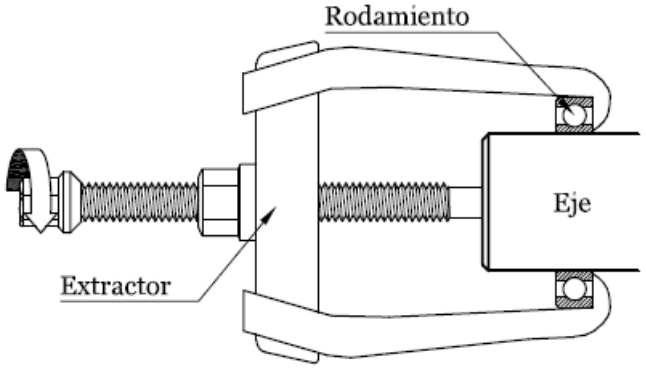


Inmersión en baño de aceite
(rodamientos grandes)

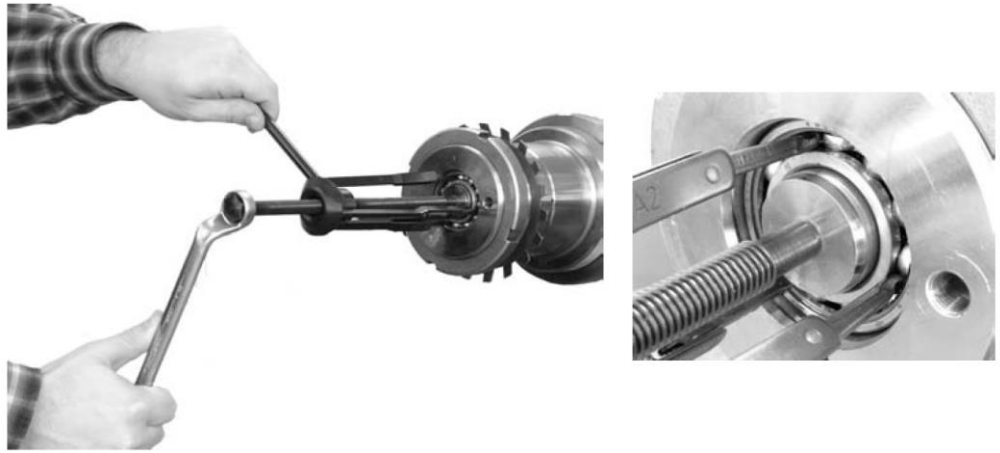
5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Desmontaje de rodamientos con agujero cilíndrico.
  - Desmontaje en frío. Casquillos, y martillos (interferencia pequeña). Extractores mecánicos exteriores e interiores (interferencia media) con accionamiento mediante rosca o hidráulico; muescas en el eje para facilitar la extracción. Inyección de aceite a presión entre aro y eje (interferencia alta).





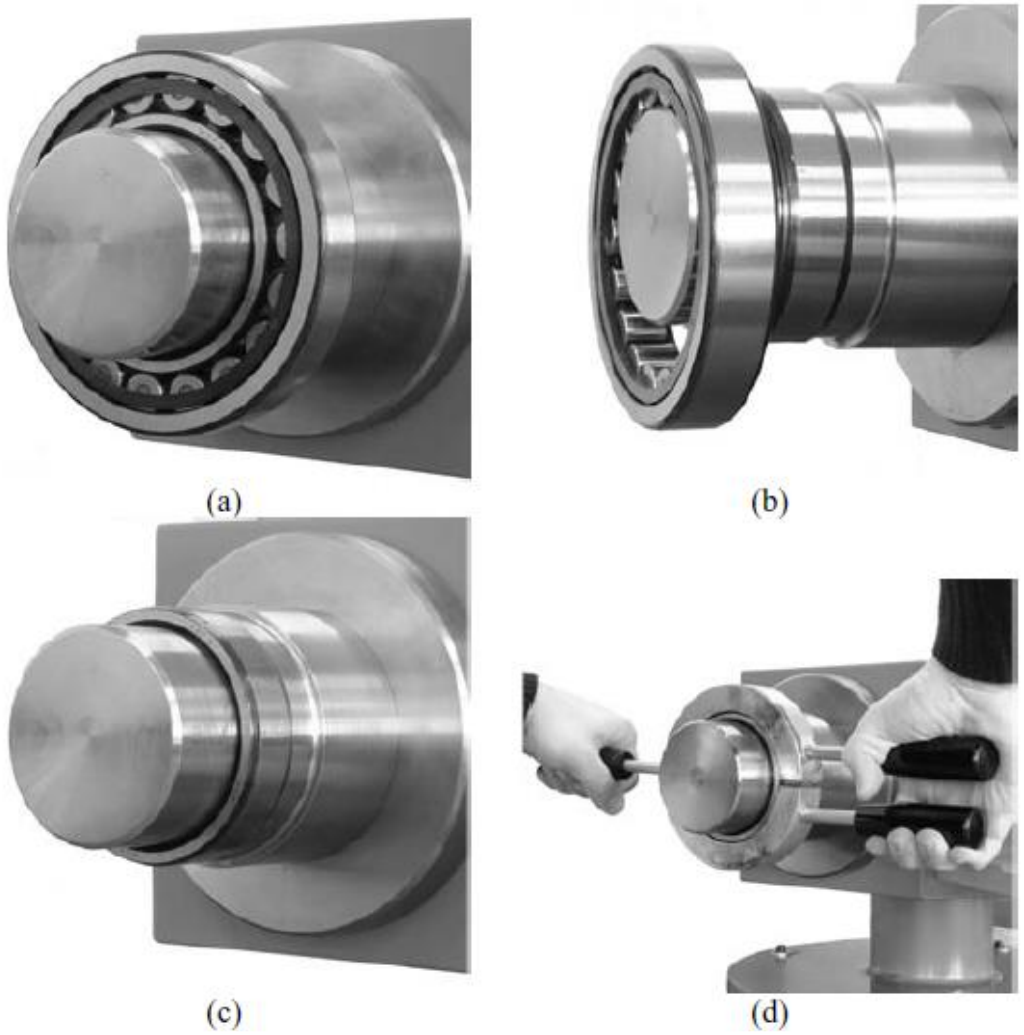
Extractor exterior



Extractor interior

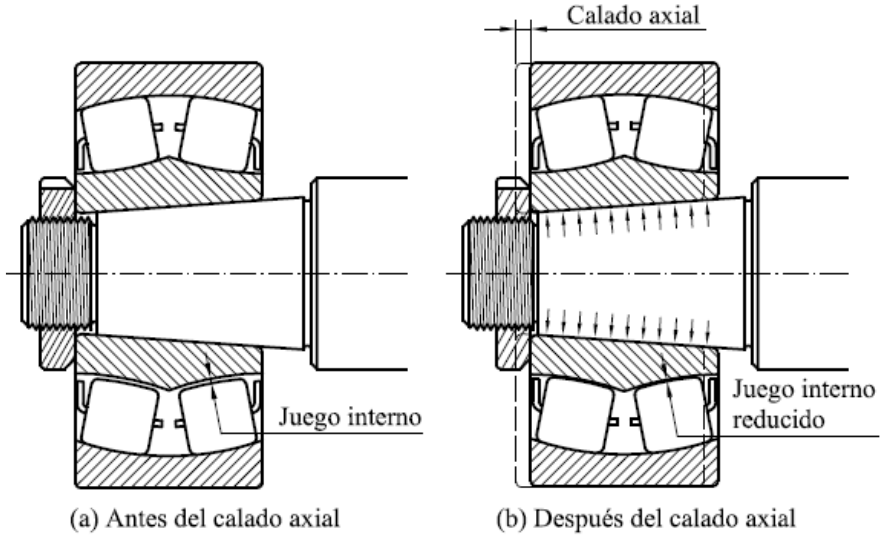
5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Desmontaje en caliente. Para rodamientos de rodillos cilíndricos sin pestañas. Tras desmontar el aro exterior, sale todo menos el aro interior. Se aplica un aro ranurado que lo calienta y permite la extracción. También hay herramientas anulares de inducción.

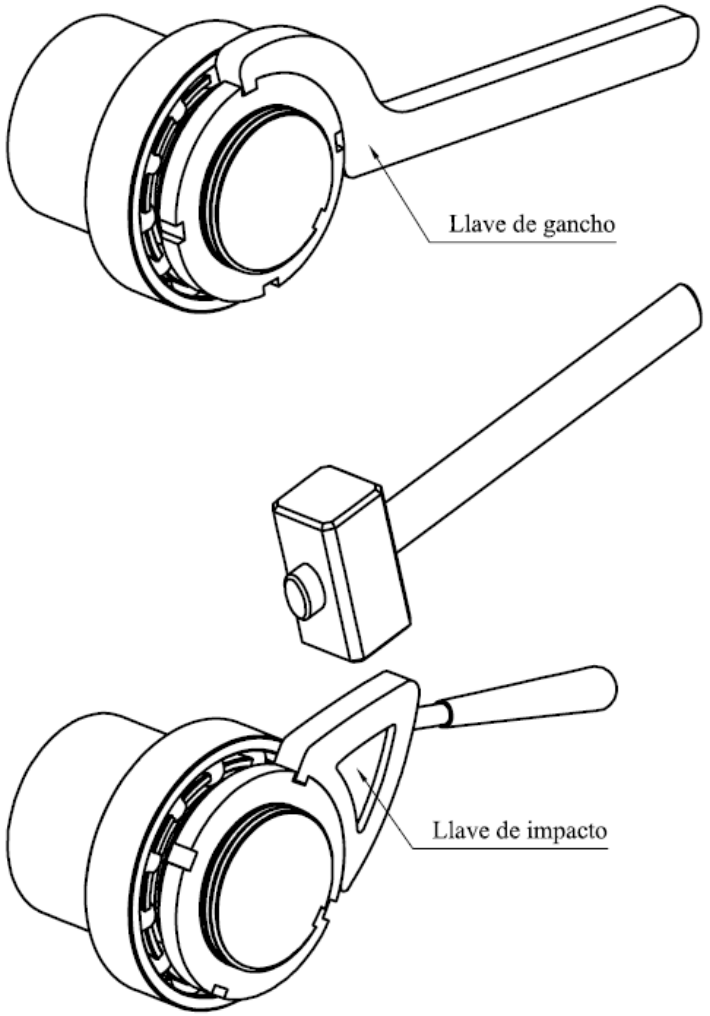


5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Montaje de rodamientos con agujero cónico.
  - Ventajas del agujero cónico: se puede conseguir cualquier ajuste dentro de un rango, no requieren hombro de apoyo, no es necesario aplicar calor para montar y desmontar.
  - Colocar bien el rodamiento. Limpiar y lubricar las superficie.
  - Montaje en frío. Se aprieta axialmente el rodamiento hasta que quede el juego interno prescrito (se verifica con galgas de espesor calibrado “pasa-no pasa”). Apriete con casquillo y martillo, o con llave de gancho.

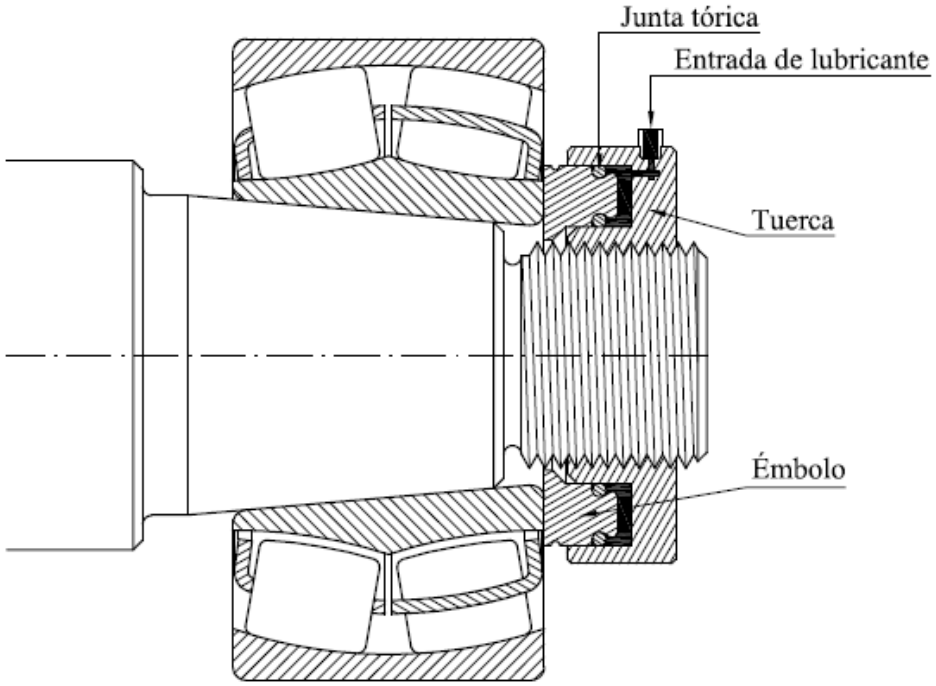


(a) Antes del calado axial (b) Después del calado axial

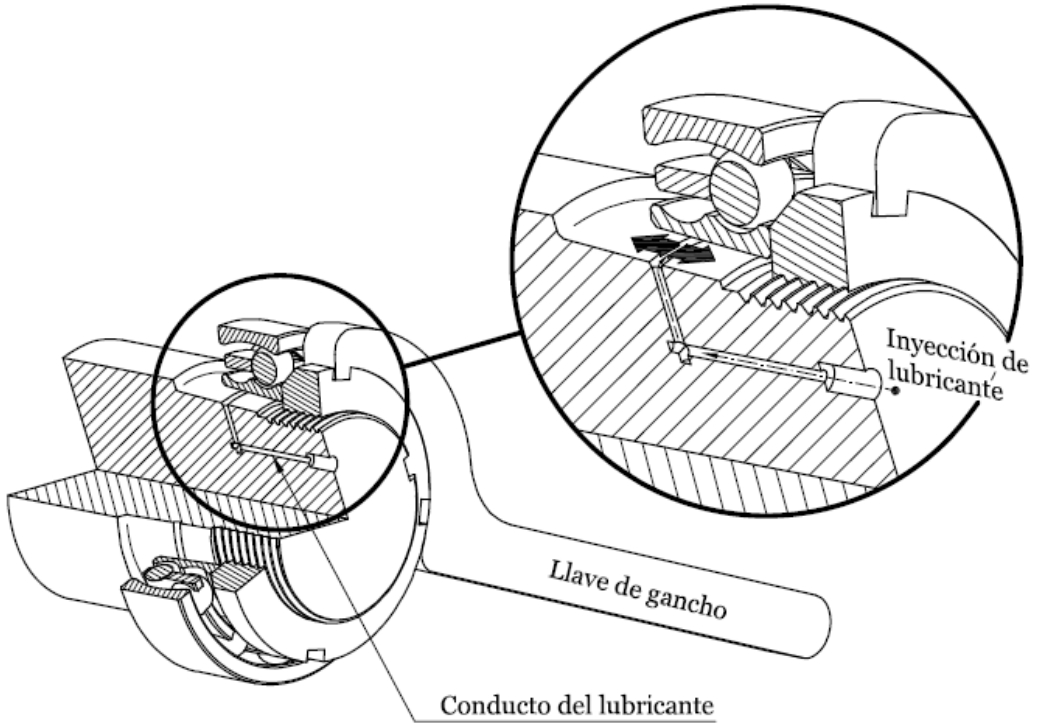


5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Montaje en frío. Para el apriete, también se puede utilizar la tuerca hidráulica o la inyección de aceite (evita el desgaste del eje). Se pueden combinar en casos muy severos.



Tuerca hidráulica

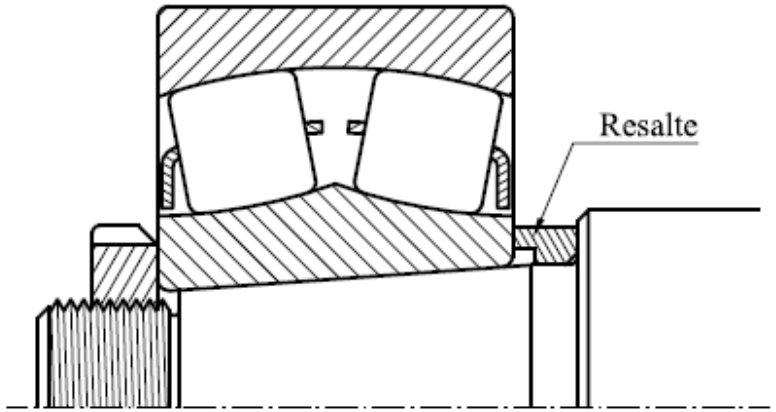


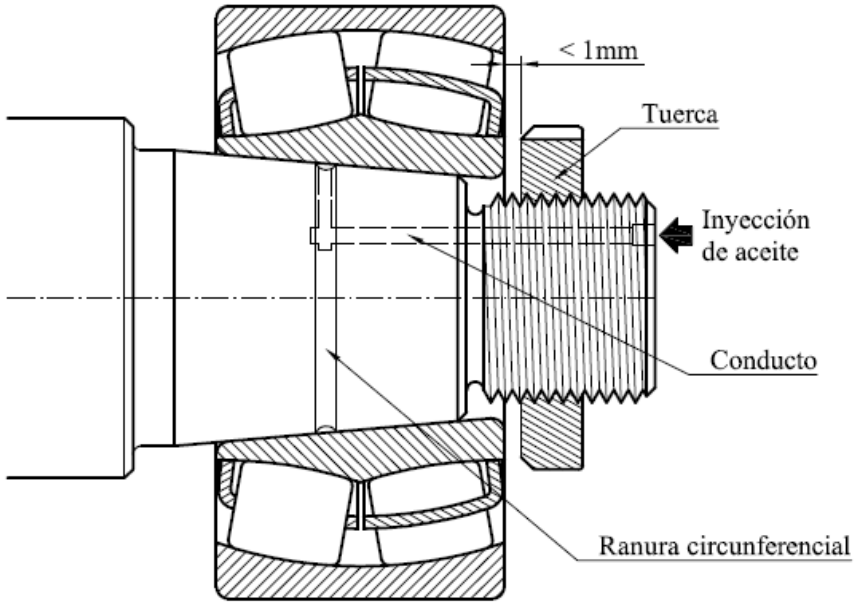
Sistema de inyección de aceite combinado con llave de gancho

5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Montaje en caliente. Se pueden emplear los mismos métodos que para agujero cilíndrico. Cuidar el calado al apretar axialmente, porque puede ser excesivo. Para evitar problemas, se pone un anillo antes del rodamiento, para que el calado axial sea el justo.

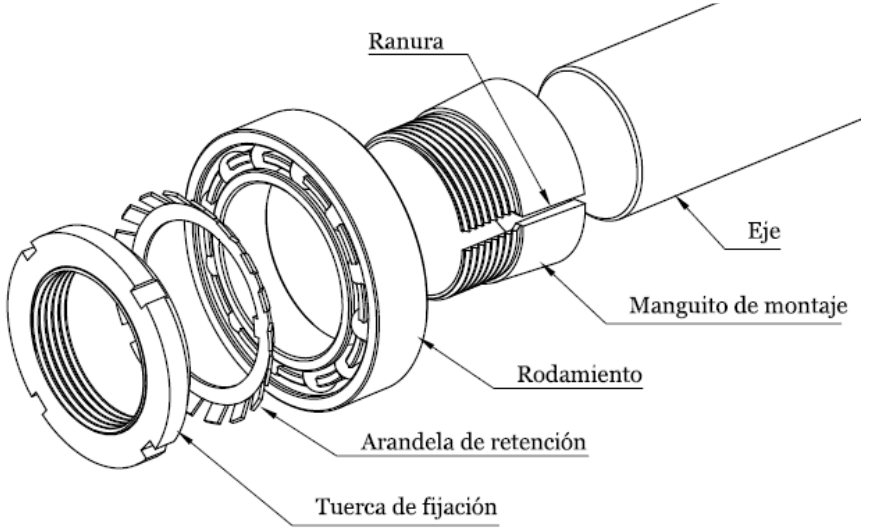
- Desmontaje de rodamientos con agujero cónico.
  - Por medios mecánicos. Extractores (rodamientos pequeños y medios).
  - Inyección de aceite (rodamientos grandes). Tuerca que haga de tope en la extracción. Este método evita el desgaste.

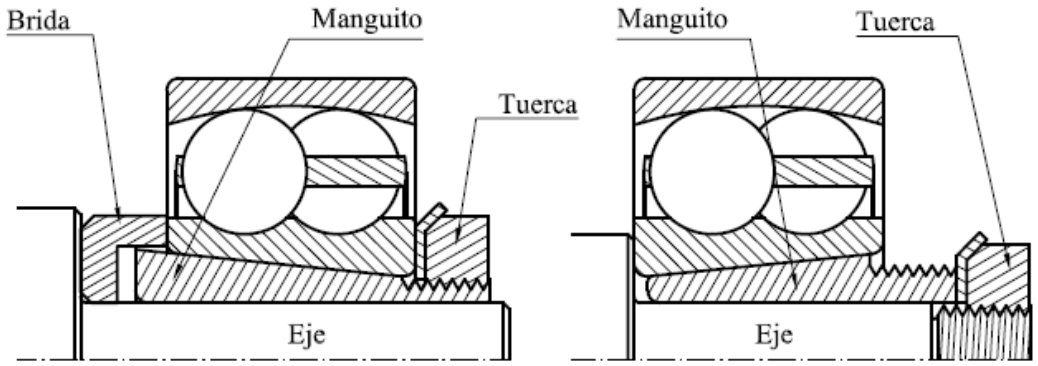




5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Montaje y desmontaje de rodamientos con agujero cónico utilizando manguitos.
  - Se evita mecanizar con precisión el eje para lograr la superficie cónica.
  - Se puede ubicar el rodamiento en cualquier posición a lo largo del eje.
  - Se simplifica el montaje y desmontaje.
  - El aro interior siempre se monta con interferencia.
  - Según posición del cono: manguito de montaje y manguito de desmontaje.

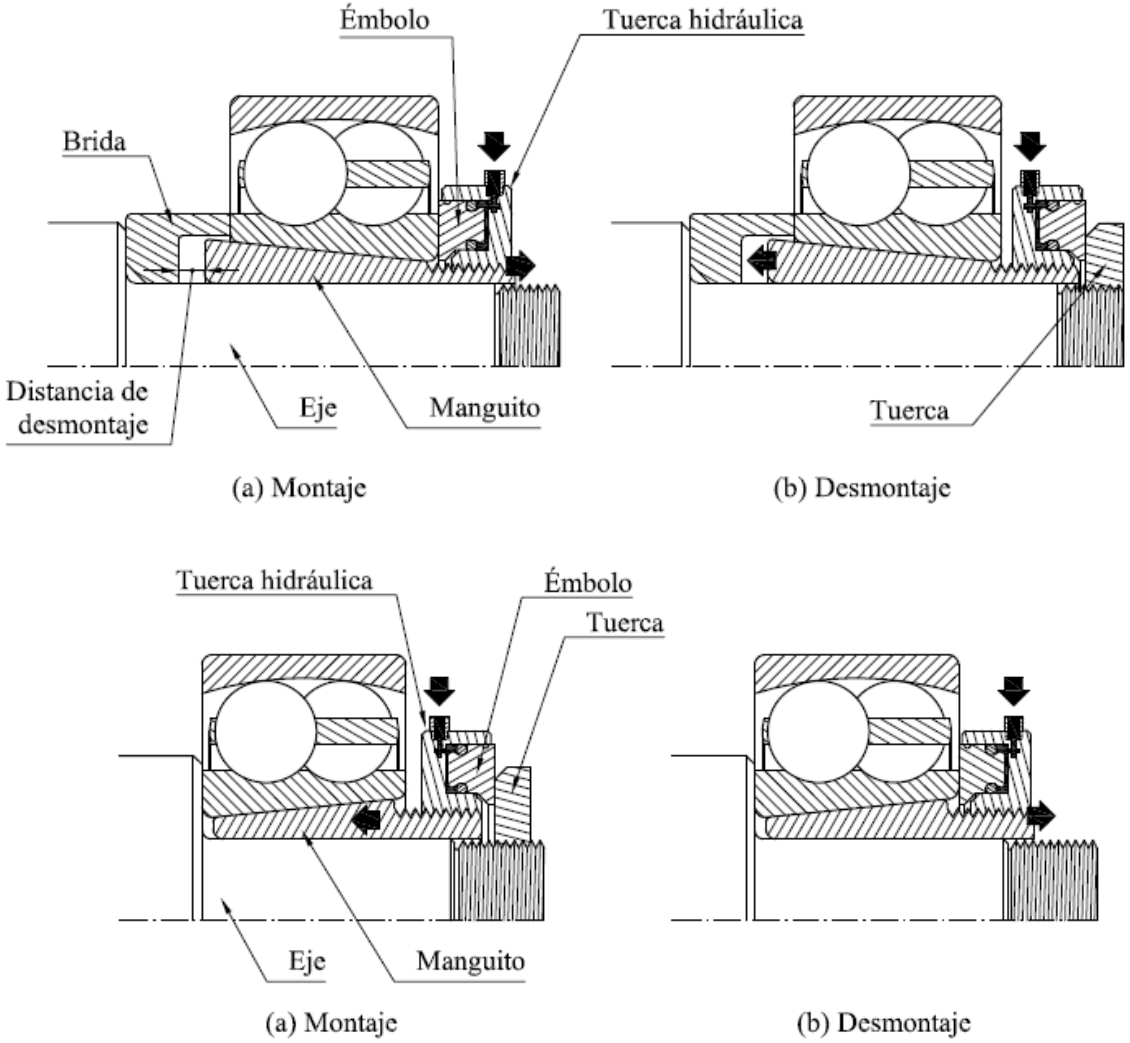




(a) Manguito de montaje (b) Manguito de desmontaje

5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Manguito de montaje. La brida asegura espacio para el desmontaje. Medir el juego interno para verificar el ajuste. También se puede hacer montaje en caliente.
- Manguito de desmontaje. Bueno para montar el rodamiento contra un hombro de eje. Mismas técnicas que para el manguito de montaje.



5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Fallo en rodamientos.
  - Desgaste: normal, por el rozamiento entre componentes; severo, a altas temperaturas se producen micro-soldaduras que arrancan partículas y acaban produciendo pequeños cráteres.
  - Estriado: surcos más o menos rectilíneos causados por el paso de corriente eléctrica que produce micro-soldaduras.
  - Aparición de grietas: fallo por fatiga superficial.
  - Desconchado: golpes durante la instalación o el funcionamiento, o resultado de la fatiga superficial.
  - Agrietamiento a rotura: por golpear al rodamiento.
  - Oxidación o corrosión: agua o ácidos que llegan al rodamiento por defecto en la lubricación o en las obturaciones.
  - Cambios de color: sobrecalentamientos localizados que producen un cambio metalúrgico y pérdida de propiedades.

5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Síntomas de fallo.
  - Sobrecalentamiento: si hay cualquier tipo de defecto, la temperatura de funcionamiento aumenta, al hacerlo el rozamiento.
  - Ruido y vibración: aumentan ante el deterioro; medir vibraciones es uno de los métodos más efectivos para analizar el funcionamiento.
  - Sustituciones frecuentes: la necesidad frecuente de sustituir un rodamiento indica que hay alguna causa de fallo no detectada.
  - Funcionamiento poco satisfactorio de la máquina: una menor producción o de menor calidad pueden ser indicativos de problemas en los rodamientos.
  - Rodamiento suelto en un eje: si no se aprecia rigidez en la unión eje-rodamiento es un mal síntoma.
  - Resistencia al giro del eje: la necesidad de un par excesivo para girar el eje o un movimiento de giro que no es suave, son también pistas claras.

5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Causas de fallo.
  - Defectos de lubricación.
  - Defectos en las obturaciones.
  - Juego insuficiente (precarga excesiva).
  - Elementos incorrectos o deformados: del rodamiento o relacionados (soportes, resaltes, etc.).
  - Interferencia entre elementos: contactos entre elementos móviles que no deberían contactar.
  - Defectos externos al rodamiento: el desequilibrio o la desalineación del eje pueden provocar el mal funcionamiento de los rodamientos.

	CAUSAS	SÍNTOMAS						
		1	2	3	4	5	6	7
Defectos en la lubricación	La grasa o el aceite no es el adecuado para las condiciones de funcionamiento.	♦	♦	♦				♦
	El lubricante es escaso: el nivel de aceite es bajo (pérdidas) o falta grasa.	♦	♦	♦				♦
	El lubricante es excesivo, lo que incrementa la fricción viscosa que genera calor.	♦						♦
	En lubricación forzada, los conductos del lubricante están bloqueados y no se produce la circulación necesaria.	♦						
Defectos en las obturaciones	Las obturaciones rozantes se han desgastado y no sellan bien la junta. Así, permiten la salida del lubricante y la entrada de suciedad al rodamiento.	♦	♦	♦	♦	♦		♦
	Las obturaciones rozantes se han desgastado y están permitiendo la entrada de agua, ácidos y otros agentes corrosivos.		♦	♦	♦	♦		♦
	Las obturaciones están muy apretadas o deformadas debido a la presión de elementos externos.	♦	♦	♦				♦
	Las obturaciones están rozando con otros elementos con los que no se mueven solidariamente (por ejemplo: rozamiento entre los dos lados del laberinto).	♦	♦	♦				♦
	El eje roza con las obturaciones. Puede darse cuando el rodamiento apoya directamente sobre un hombro del eje.	♦	♦	♦				♦
Juego insuficiente	El rodamiento tiene, una vez montado, un juego interno insuficiente. Esto puede deberse a numerosas causas: - Si la superficie de interferencia es cilíndrica, esto se debe a un defecto de diseño (poco corriente), mientras que si es cónica, esto se debe a un montaje incorrecto del rodamiento (calado axial excesivo). - Si el eje constituye una fuente externa de calor para el rodamiento, la dilatación excesiva del aro interior reduce el juego interno pudiendo llegar a anularlo completamente.	♦	♦	♦		♦		♦
	La dilatación imprevista del eje carga excesivamente los rodamientos. En los casos de dilatación importante se debe asegurar que uno de los rodamientos constituye un soporte axialmente móvil.	♦	♦	♦		♦		♦
	El orificio del alojamiento es de tamaño insuficiente.	♦	♦	♦		♦		♦

Síntomas:
1- Sobrecalentamiento.
2- Ruido.
3- Sustituciones frecuentes.
4- Vibración.
5- Mal funcionamiento de la máquina.
6- Rodamiento suelto en el eje.
7- El eje se resiste al giro.

CAUSAS		SÍNTOMAS						
		1	2	3	4	5	6	7
Elementos incorrectos o deformados	El orificio del alojamiento no es redondo y comprime el rodamiento. Puede deberse a una elección incorrecta del soporte (durante el diseño de la máquina), defectos de fabricación, rebabas, deformaciones debidas al funcionamiento de la máquina, depósito de suciedad, etc.	♦	♦	♦	♦	♦		♦
	El orificio del alojamiento se ha agrandado. Generalmente debido a la falta de dureza del material, el orificio ya no se ajusta bien al aro exterior del rodamiento y éste gira dentro del alojamiento.	♦	♦	♦	♦	♦		
	El diámetro del eje es demasiado pequeño (ajuste con poca presión) o el manguito no está suficientemente apretado.		♦	♦	♦	♦	♦	
	Parte plana en un elemento rodante debido a deslizamientos (probablemente causados por arranques demasiado rápidos).		♦		♦	♦		
	La deformación en el asiento del eje o del agujero del alojamiento provoca una distribución no uniforme de la carga.			♦	♦	♦		
	El eje y el aro interior están deformados o el alojamiento y el aro exterior están deformados.		♦	♦	♦	♦		♦
	El elemento rodante está mellado (marcado) debido a algún golpe (probablemente producido durante el montaje).		♦	♦	♦	♦		
	El rodamiento posee un juego nominal interno excesivo, lo que da lugar a vibraciones.		♦		♦	♦		
Interferencia entre elementos	Algún elemento fijo roza con algún elemento móvil. Un ejemplo común es el rozamiento que en ocasiones se produce entre las pestañas de la arandela de retención y la jaula del rodamiento.	♦	♦			♦		♦
	Los componentes móviles de la máquina interfieren con el soporte del rodamiento.		♦					
Defectos externos al rodamiento	Sobre el rodamiento incide una corriente de aire que produce pérdidas de lubricante, probablemente debido a un ventilador destinado a refrigerar otros componentes de la máquina.			♦				
	La carga externa está desequilibrada.	♦	♦	♦	♦	♦		
	Los soportes están desalineados de forma paralela o angular (la alineación es tanto más importante en ejes soportados por más de dos rodamientos).	♦		♦	♦	♦		♦
	Algunos elementos de la máquina están desequilibrados y producen vibraciones.		♦		♦	♦		
	Los resaltes del eje (hombros), del alojamiento, o de la tuerca de fijación están descuadrados respecto al asiento del rodamiento.			♦		♦		♦
	El rodamiento se ve sometido a vibraciones mientras la máquina está parada.		♦			♦		

Síntomas:
1- Sobrecalentamiento.
2- Ruido.
3- Sustituciones frecuentes.
4- Vibración.
5- Mal funcionamiento de la máquina.
6- Rodamiento suelto en el eje.
7- El eje se resiste al giro.

5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Operaciones de mantenimiento en rodamientos.
  - Inspección con la máquina en marcha: se pueden observar y medir parámetros que permitan detectar el problema con anticipación suficiente.
    - Escuchar: con un estetoscopio.

Tipo de sonido	Causa posible
Chirridos	Lubricación inadecuada o suciedad en el interior
Sonido metálico	Juego interno insuficiente
Sonido de vibración, claro y suave	Indentaciones en las pistas de rodadura
Ruidos intermitentes	Daño en los elementos rodantes
Ruidos varios	Daño y arañazos en los aros (probablemente durante el montaje)

    - Tocar. Termómetros digitales para medir altas temperaturas (más de 125ºC es perjudicial). Tras re-lubricación puede aumentar algo la temperatura.

Estetoscopio

Termómetro digital

5.3 Mantenimiento de rodamientos

- Observar: fugas de lubricante, defectos en las obturaciones, etc.
- Lubricar: normalmente, la re-lubricación se puede hacer con la máquina en marcha.
- Medir vibraciones (capítulo 8).

- Inspección con máquina parada.
  - Limpieza del entorno: antes de desmontar nada.
  - Obturaciones: se dañan con facilidad.
  - Lubricante: extracción para análisis. Manual (dedos, dorso de la mano) o con verificador (mide la constante dieléctrica del lubricante, cuyo valor se relaciona con el nivel de contaminación y degradación del lubricante).
  - Sustitución del lubricante: vaciar, aceite limpio, funcionamiento a baja velocidad, filtrado del aceite y relleno o aceite nuevo; con grasa (90%), rellenar todo el espacio entre aros y elementos rodantes.