

Daño de rodamientos y análisis de fallas



Contenido

Introducción	5
1 Vida de los rodamientos y sus fallas	6
Factores que influyen en la vida útil del rodamiento	6
¿Cuándo se debe reemplazar un rodamiento?	7
2 Inspección y resolución de problemas	8
Inspección durante la operación	8
Monitoreo de ruidos y vibraciones	9
Monitoreo de temperatura	9
Monitoreo de las condiciones de lubricación	9
Inspección durante una parada del equipo	9
Inspección de rodamientos	9
Inspección de superficies de sellado	10
Resolución de problemas	10
Síntomas comunes de problemas en rodamientos	10
Los problemas y sus soluciones	13
3 Patrones de pistas	30
Patrones normales de pistas de caminos de rodadura	32
Rodamientos radiales; carga radial unidireccional y constante	32
Rodamientos radiales; carga radial que gira en fase y constante	33
Rodamientos radiales; carga axial unidireccional y constante	34
Rodamientos radiales; combinación de cargas radiales y axiales unidireccionales y constantes	35
Rodamientos axiales; carga axial unidireccional y constante	35
Patrones de pista de caminos de rodadura de condiciones de funcionamiento anormales	36
Rodamientos radiales; carga radial unidireccional y constante	36
Rodamientos axiales; carga axial unidireccional y constante	38
4 Clasificación ISO de modos de falla	40
Clasificación de modos de falla; grupo de trabajo ISO	40
Modos de falla	42
Fatiga	42
Desgaste	46
Corrosión	50
Erosión eléctrica	53
Deformación plástica	56
Fracturas y agrietamiento	59
5 Daños y acciones	62
Fatiga iniciada en la subsuperficie	63

Fatiga iniciada en la superficie.....	64
Desgaste abrasivo.....	66
Desgaste por adherencias.....	68
Corrosión por humedad.....	69
Corrosión por contacto.....	71
Vibrocorrosión.....	73
Exceso de corriente.....	74
Fuga de corriente.....	75
Sobrecarga.....	77
Indentaciones.....	79
Fractura forzada.....	81
Fractura por fatiga.....	82
Agrietamiento térmico.....	83
6 Otras investigaciones.....	84
7 Estudio de casos.....	86
Descarrilamiento ferroviario.....	86
Problema en motor eléctrico de velocidad variable.....	88
Problema en molino de arcilla.....	90
Problema en la trituradora de mandíbula.....	92
8 Apéndices.....	94
Apéndice A: Clasificación SKF adaptada de ISO 15243:2004.....	94
Apéndice B: Factores que influyen en la selección del rodamiento.....	95
Apéndice C: Daños y fallas de rodamientos; modos y causas.....	97
Apéndice D: Recopilación de información.....	98
Apéndice E: Glosario.....	99

Introducción

Los rodamientos son uno de los componentes más importantes de la mayoría de los equipos. Soportan grandes exigencias con respecto a su capacidad de carga, funcionamiento, precisión, niveles de ruido, fricción y calor por fricción, vida y confiabilidad. Por lo tanto, es natural que jueguen un papel tan destacado y que, a través de los años, hayan sido el objeto de extensa investigación y mejoras continuas.

La tecnología de rodamientos se ha convertido en una rama específica de la ciencia. SKF ha estado a la vanguardia desde el comienzo, y ha sido uno de los líderes en este campo. Entre los beneficios que surgen de esta investigación está la capacidad de fabricar rodamientos de la más alta calidad y calcular la vida nominal de un rodamiento con considerable precisión, además del conocimiento detallado de la aplicación, lo que posibilita maximizar la vida útil del rodamiento del equipo en cuestión.

Pese al diseño y a la fabricación cuidadosa, además de la prueba del rodamiento en la aplicación, a veces el rodamiento no alcanza la vida útil requerida. Las fallas, por lo general, causarán pérdidas económicas debido a la pérdida de la producción y generarán daños a las partes de contacto, a lo que se agrega el costo de las reparaciones.

Puede ocurrir falla prematura del rodamiento por una variedad de motivos. Cada falla deja su propia huella especial en el rodamiento.

En consecuencia, al examinar un rodamiento fallado o dañado, en la mayoría de los casos es posible establecer la causa raíz y definir acciones correctivas para evitar una recurrencia. El propósito de esta publicación es proporcionar un conocimiento básico de fallas de rodamientos y análisis de fallas.

Con el conocimiento que se presenta aquí, es posible evaluar situaciones sencillas de fallas y comenzar el análisis correcto. Sin embargo, la información no es suficiente para realizar un análisis profundo de fallas de rodamientos y no compensa la experiencia que se necesita en este dominio.

Acerca de esta publicación

Esta publicación consta de distintos capítulos:

1 Vida de los rodamientos y sus fallas

La mayor parte de los rodamientos sobrevive al equipo en el que están instalados. Solo fallan algunos.

2 Inspección y resolución de problemas

Cuando ocurre un problema, la inspección durante la operación o la parada y la resolución inmediata de problemas puede dar indicios de lo que sucede. Aquí no se cubre el tema más importante del monitoreo de la condición (descubrir el daño a tiempo). Se proporciona más información sobre monitoreo de la condición en el *Manual de mantenimiento de rodamientos SKF* o en publicaciones especializadas.

3 Patrones de pista

Una vez que se produjo el daño, es necesario examinar y analizar el rodamiento. El análisis requiere una buena comprensión de los patrones de pistas.

4 Clasificación ISO de modos de falla

La terminología y el sistema de clasificación ISO ayudan a comunicar el tipo de daño y sus causas posibles.

5 Daños y acciones

Se describen una cantidad de casos con sus acciones correctivas. En este capítulo solo se cubre el análisis no destructivo.

6 Otras investigaciones

Para los casos complejos, hay varios métodos avanzados de análisis de fallas, destructivos, disponibles en los laboratorios de SKF. Este capítulo contiene un breve resumen.

7 Estudio de casos

El análisis de daños de rodamientos puede ser muy complejo. Esto se demuestra con algunos estudios de casos.

8 Apéndices

Los Apéndices de A a E contienen cuadros clave para tener rápidos panoramas generales, consejos sobre cómo recopilar información sobre daños de rodamientos y un glosario de referencia.

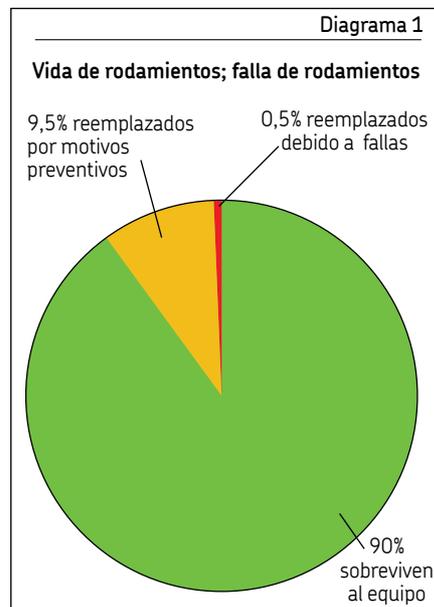
1 Vida de los rodamientos y sus fallas

Cada año, se fabrica un estimado de 10 000 millones de rodamientos en todo el mundo. Solo una pequeña fracción de los rodamientos en uso realmente fallan (→ **diagrama 1**). La mayor parte de los rodamientos (aprox. 90%) sobrevive al equipo en el que están instalados. Un porcentaje (9,5%) se reemplaza antes de que fallen por razones de seguridad (prevención). Aproximadamente el 0,5% de los rodamientos se reemplazan porque están dañados o fallan. Esto significa que alrededor de 50 000 000 de rodamientos se reemplazan cada año por daños y fallas. Hay varias razones por las que los rodamientos se pueden dañar o fallar. Hablando en general:

- 1/3 falla debido a fatiga
- 1/3 falla debido a problemas de lubricación (lubricante, cantidad o intervalo de lubricación incorrectos)
- 1/6 falla debido a la contaminación (sellos ineficaces)
- 1/6 falla por otros motivos (manipuleo y montaje incorrectos, carga más pesada o distinta de la anticipada, ajustes incorrectos o inadecuados)

Las cifras varían según la industria o la aplicación. En la industria de celulosa y papel, por ejemplo, la contaminación y la lubricación inadecuada son causas importantes de falla, más que la fatiga.

Cada uno de estos eventos produce una huella de daño única, que se denomina patrón (patrón de pista cuando se refiere a caminos de rodadura, (→ *Patrones de pista*, **pág. 32**). En consecuencia, al examinar con cuidado un rodamiento dañado, es posible encontrar la causa raíz del daño, en la mayoría



de los casos. En función de los hallazgos, se pueden tomar acciones correctivas para evitar la recurrencia del problema.

Por ejemplo, tomemos una aplicación con sellos ineficaces. Cuando ingresan contaminantes en forma de partículas a través de los sellos, los elementos rodantes pueden causar su desplazamiento excesivo. Este desplazamiento crea indentaciones en los caminos de rodadura (→ fig. 1). Las partículas duras pueden causar indentaciones con bordes afilados. Cuando el área que rodea la indentación está sometida a la tensión cíclica debido al desplazamiento excesivo causado por los elementos rodantes, se inicia la fatiga de superficie y el metal comenzará a desprenderse del camino de rodadura. Esto se denomina descascarillado. Una vez que se produjo descascarillado, el daño aumentará hasta que el rodamiento se vuelva inutilizable.

Factores que influyen en la vida útil del rodamiento

En general, la vida nominal de un rodamiento en una aplicación se puede calcular en función de la fórmula de vida nominal de SKF:

$$L_{nm} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P} \right)^p$$

donde

L_{nm} = SKF vida nominal SKF (a 100 – n¹) % confiabilidad [millones de revoluciones]

a_1 = factor de ajuste de vida, por confiabilidad

a_{SKF} = factor de modificación de vida de SKF
 C = capacidad de carga dinámica nominal [kN]

P = carga dinámica equivalente [kN]

p = exponente de la ecuación de vida

¹) El factor n representa la probabilidad de fallas, que es la diferencia entre la confiabilidad requerida y el 100%.

Este método no solo considera las cargas, sino que incluye otros factores importantes como la confiabilidad, las condiciones de lubricación, la contaminación y el límite de carga por fatiga.

La vida útil de un rodamiento puede alcanzar o exceder la vida nominal calculada según una cantidad de factores:

- **Calidad del rodamiento**

Solo los rodamientos fabricados según los estándares de calidad más altos pueden proporcionar una larga vida útil.

- **Almacenamiento**

Guardar los rodamientos en forma correcta es un aspecto importante del almacenamiento correcto. Evite el exceso de existencias. Utilizar el enfoque “primero en entrar, primero en salir” ayudará a asegurarnos de que en la estantería hay rodamientos “nuevos”. Esto es particularmente importante para los rodamientos que contienen sellos o protecciones, porque están lubricados en fábrica y la grasa tiene un tiempo de vida útil limitado. También se debe recordar que, con los rápidos cambios en la tecnología de fabricación, los rodamientos actuales incorporan una vida útil mucho mayor que la de los fabricados hace 10 o 15 años.

- **Aplicación**

La aplicación utiliza los rodamientos adecuados.

- **Montaje**

Los rodamientos solo funcionarán bien si están correctamente montados (→ *Manual de mantenimiento de rodamientos SKF*). Las técnicas incorrectas de montaje pueden dañar los rodamientos con facilidad, y causar fallas prematuras.

- **Lubricación**

Las diferentes condiciones de funcionamiento requieren diferentes lubricantes e intervalos distintos de lubricación. Por lo tanto, es importante no solo aplicar el lubricante correcto, sino también la cantidad correcta, en el momento correcto y con el método correcto.

- **Soluciones de sellado**

El objetivo de un sello es retener los lubricantes y excluir los contaminantes del rodamiento. Podría producirse la falla prematura de rodamientos si la aplicación no está sellada eficazmente.

¿Cuándo se debe reemplazar un rodamiento?

El lapso de tiempo entre el primer daño (inicial) hasta que el rodamiento no sirve más puede variar considerablemente. A velocidades más altas, puede tomar solo unos segundos. En los equipos grandes, que giran lentamente, puede tomar meses. La pregunta, “¿Cuándo debo reemplazar el rodamiento?”, la contesta mejor el monitoreo de la condición del rodamiento (→ *Inspección y resolución de problemas*, pág. 10).

Si no se diagnostica el daño del rodamiento, y no se lo reemplaza antes de que se produzca una falla catastrófica, puede ocurrir daño secundario al equipo y a sus componentes. También, cuando se produce una falla catastrófica en un rodamiento, puede ser difícil, incluso imposible, determinar la causa raíz de la falla.

Avance del daño

Un contaminante duro se roló y causó una indentación en el camino de rodadura del aro interior de un rodamiento de rodillos cilíndricos (a). La fatiga iniciada en la superficie originó descascarillado justo detrás de la indentación. A lo largo de un período de tiempo, el descascarillado se hizo más y más pronunciado (w, b). Si no se hubiera detenido el equipo a tiempo, podría haber ocurrido daño secundario a sus componentes. La indentación inicial ya no es más reconocible (d).

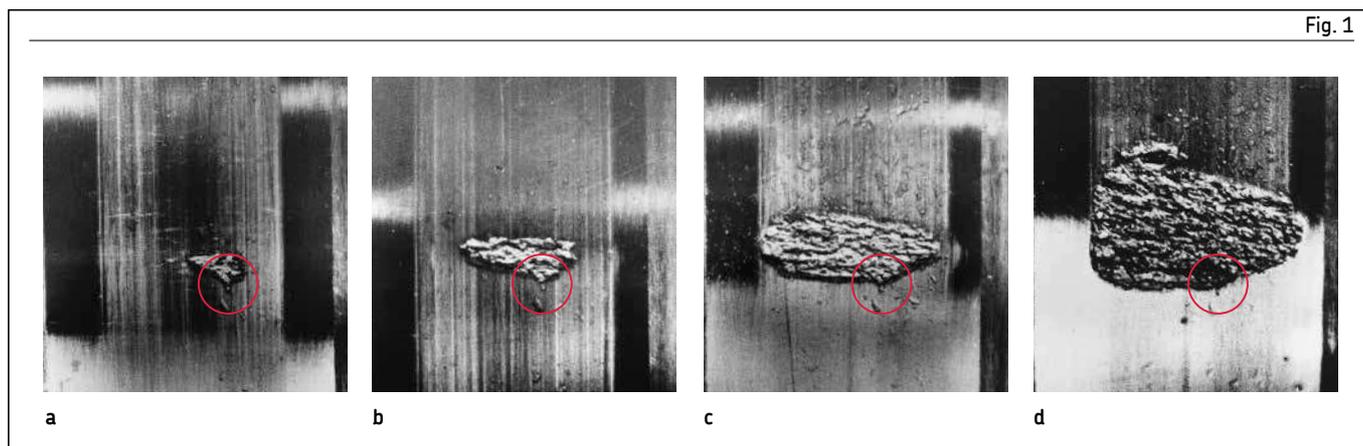


Fig. 1

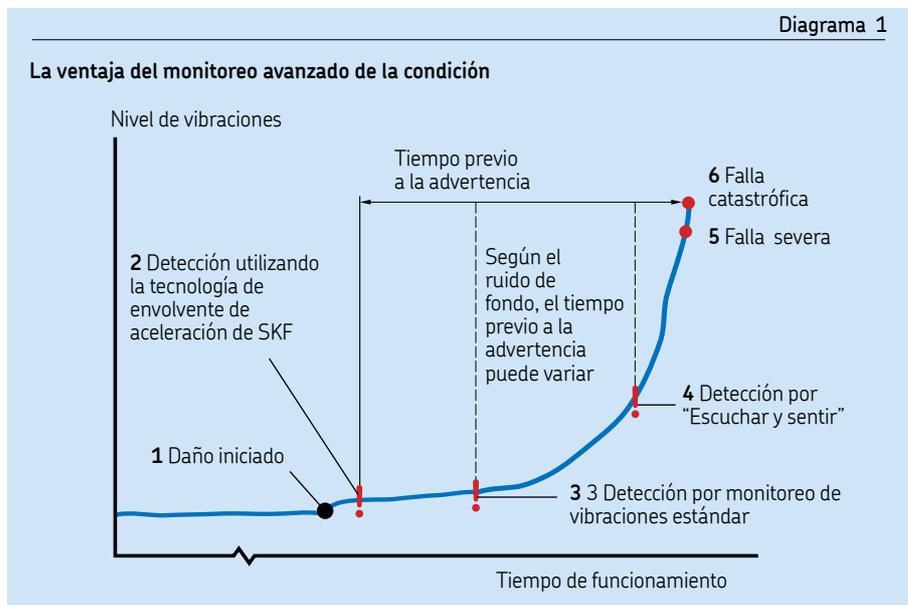
2 Inspección y resolución de problemas

Inspección durante la operación

Las indicaciones tempranas del daño en los rodamientos permiten que el usuario los reemplace durante el mantenimiento regular programado, evitando el costoso tiempo improductivo no planificado del equipo por falla de rodamientos. Los parámetros importantes para monitorear la condición de los equipos incluyen ruido, temperatura y vibración.

Los rodamientos desgastados o dañados, por lo general, muestran síntomas identificables. Podrían existir muchas causas posibles que requieren ser investigadas (→ *Resolución de problemas*, pág. 12).

Por razones prácticas, no todos los equipos o las funciones se pueden monitorear con sistemas avanzados.



En estos casos, los problemas se pueden detectar al mirar o escuchar al equipo. Sin embargo, utilizar los sentidos para detectar los problemas de la maquinaria tiene beneficios limitados. En el momento en que ha ocurrido suficiente deterioro como para que el cambio se note, el daño ya puede ser extenso. La ventaja de utilizar tecnologías objetivas, tales como el análisis avanzado de vibraciones, es que se detecta el daño en una etapa temprana del desarrollo, antes de que sea problemático (→ **diagrama 1**). Al utilizar instrumentos profesionales de monitoreo de la condición y la tecnología de envolvente de aceleración de SKF, se puede maximizar el tiempo previo a la advertencia.

La **fig. 1** muestra el avance del daño según se ilustra en el **diagrama 1**:

- 1 El rodamiento muestra desgaste abrasivo incipiente.
- 2 Primer descascarillado, detectado por la tecnología de envolvente de aceleración de SKF.
- 3 El descascarillado se ha desarrollado en tal medida que lo puede detectar el monitoreo de vibraciones estándar.
- 4 El descascarillado avanzado causa altos niveles de vibración y ruido e incremento de la temperatura de funcionamiento.
- 5 Ocurre daño severo: fractura por fatiga del aro interior del rodamiento.
- 6 La falla catastrófica ocurre con daño secundario a otros componentes.

Monitoreo de ruidos y vibraciones

El escuchar es un método común que se utiliza para tratar de identificar deterioro o daño en un rodamiento. Los rodamientos que están en buenas condiciones producen un ruido de ronroneo suave. Los ruidos ásperos, los chirridos y otros sonidos irregulares normalmente indican que los rodamientos están en mal estado, o que algo está mal.

La necesidad del monitoreo de vibraciones se origina en tres hechos fundamentales:

- Todos los equipos vibran.
- La aparición de un problema mecánico está acompañado, por lo general, por el incremento de los niveles de vibraciones.
- La naturaleza de la falla se puede determinar a partir de las características de las vibraciones.

Monitoreo de temperatura

Es importante monitorear la temperatura de funcionamiento en las posiciones de rodamientos. Si no se han modificado las condiciones de funcionamiento, todo incremento de la temperatura es, con frecuencia, una indicación de daño inminente de rodamientos. Sin embargo, se debe recordar que ocurre un incremento de temperatura natural que dura uno o dos días, inmediatamente después del primer arranque del equipo y después de cada relubricación con grasa.

Monitoreo de las condiciones de lubricación

Los rodamientos solo pueden alcanzar los niveles máximos de rendimiento con la lubricación adecuada. Por lo tanto, se deben monitorear estrechamente las condiciones de lubricación de un rodamiento. La condición del lubricante también se debe evaluar en forma periódica, preferentemente tomando muestras y haciéndolas analizar.

SKF recomienda los siguientes lineamientos generales para las actividades de inspección relacionadas con la lubricación:

- Verifique las fugas de lubricante en las áreas que rodean a las posiciones de rodamientos.
- Mantenga los sellos laberínticos llenos con grasa para máxima protección.
- Verifique que los sistemas de lubricación automática funcionen correctamente y que suministren la cantidad adecuada de lubricante a los rodamientos.
- Verifique el nivel de lubricante en colectores y tanques, y repóngalo de ser necesario.
- Cuando se emplea lubricación manual con grasa, relubrique según el cronograma.
- Cuando se utiliza lubricación con aceite, cámbielo según el cronograma.
- Siempre se debe asegurar que se utiliza el lubricante especificado.

Inspección durante una parada del equipo

Cuando un equipo no está funcionando, es la oportunidad de evaluar la condición de rodamientos, sellos, superficies de sellado, soportes y lubricante. Con frecuencia se puede

hacer una inspección general quitando la tapa de un soporte. Si parece que el rodamiento está dañado, se debe desmontar e inspeccionar minuciosamente.

También se puede realizar alineación de eje y correa y una inspección cuidadosa de la base y del exterior del equipo durante la parada.

Cualquier condición, sea una chapa calibrada faltante o una base deteriorada, puede afectar negativamente el rendimiento del equipo. Cuanto más temprano se identifica el problema, más rápido se puede comenzar la medida correctiva. Es mucho menos costoso reemplazar rodamientos y componentes asociados durante una parada planificada regular, que en paro no planificado, que retira del servicio al equipo de manera inesperada.

Inspección de rodamientos

No siempre es fácil acceder a los rodamientos. Sin embargo, cuando los rodamientos están parcialmente expuestos, se pueden realizar comprobaciones visuales. Para inspeccionar rodamientos, el momento más conveniente es durante el mantenimiento de rutina.

Al inspeccionar un rodamiento montado, SKF recomienda seguir estos lineamientos generales:

Preparación

- Limpie la superficie exterior del equipo.
- Retire la tapa del soporte, para exponer el rodamiento.
- Tome muestras de lubricantes para su análisis. Para lubricación con aceite, tome muestras del cárter/tanque. Para rodamientos abiertos lubricados con grasa, tome muestras de varias posiciones del rodamiento. Inspeccione visualmente la condición del lubricante. Con frecuencia se pueden detectar impurezas extendiendo una capa delgada sobre una hoja de papel y examinándola bajo una luz.
- Limpie las superficies externas expuestas del rodamiento con un paño sin pelusa.

Inspección

- Inspeccione para detectar corrosión por contacto en las superficies externas expuestas del rodamiento. Verifique si hay grietas en los aros del rodamiento.
- En los rodamientos sellados, verifique si hay desgaste o daño en los sellos.

- Cuando sea posible, gire el eje muy lentamente para sentir cualquier resistencia irregular en el rodamiento. Un rodamiento en buen estado gira de manera uniforme.

Los rodamientos abiertos lubricados con grasa en los soportes dedicados, p. ej., soportes de pie partidos, pueden someterse a una inspección *in situ* más detallada, como ser:

- Retire toda la grasa alrededor del rodamiento.
- Retire tanta grasa del rodamiento como sea posible con una espátula no metálica.
- Limpie el rodamiento con un disolvente a base de petróleo, rociándolo sobre el rodamiento. Gire el eje muy lentamente mientras lo limpia, y continúe rociando hasta que el disolvente deje de juntar suciedad y grasa. Para rodamientos grandes que acumulan lubricante severamente oxidado, límpielos con una solución alcalina fuerte que contenga hasta 10% de soda cáustica y 1% de agente humectante.
- Seque el rodamiento con un paño sin pelusa o con aire comprimido limpio y sin humedad (pero no lo gire ni lo dé vuelta).
- Verifique si hay descascarillado, marcas, rayaduras, rayas, decoloración y áreas similares a espejos en los caminos de rodadura del rodamiento, en las jaulas y los elementos rodantes. Donde corresponda, mida el juego radial interno del rodamiento (para determinar si hubo desgaste) y confirme que está dentro de especificación.
- Si la condición del rodamiento es satisfactoria, aplique la grasa adecuada de inmediato y cierre el soporte. Si es evidente que el rodamiento está dañado, desmóntelo y protéjalo de la corrosión. Luego, realice un análisis completo.

Recomendaciones generales

- Tome fotografías durante todo el proceso de inspección para ayudar a documentar la condición del rodamiento, del lubricante y del equipo en general.
- Compruebe la condición de la grasa en distintos lugares y compárela con a grasa nueva (→ **fig. 2**). Guarde una muestra representativa de la grasa para mayor análisis.
- Ciertos rodamientos grandes y medianos son adecuados para reacondicionarlos. Para obtener más información, consulte el *Manual de mantenimiento de rodamientos de SKF* y la publicación *Servicios de remanufactura SKF*.

Inspección de superficies de sellado

Para ser eficaz, un labio de sello debe desplazarse sobre una superficie lisa. Si la superficie está gastada o dañada, el labio de sello no funcionará correctamente.

Al inspeccionar la superficie, compruebe también si hay corrosión. Si la corrosión es evidente pero no severa, utilice un papel abrasivo fino húmedo/seco para eliminarla.

PRECAUCIÓN: Cuando se trabaje con soluciones disolventes o alcalinas, deben aplicarse las reglas de seguridad y los equipos pertinentes.

Resolución de problemas

Los rodamientos que no funcionan correctamente, por lo general, tienen síntomas identificables. La mejor manera de identificarlos, y de tomar acciones correctivas en una etapa temprana, es establecer un programa de monitoreo de condición en toda la planta. Para cuando el equipo de monitoreo de condición no esté disponible o no sea práctico, la sección siguiente presenta algunos indicios útiles para ayudar a identificar los síntomas más comunes, sus causas y, cuando es posible, algunas soluciones prácticas. Según el grado de daño del rodamiento, algunos síntomas pueden ser confusos y, en muchos casos, son el resultado de daño secundario. Para resolver con eficacia los problemas de rodamientos, es necesario analizar los síntomas considerando aquellos que se observaron primero en la aplicación. Esto se trata con más detalles en la *Clasificación de modos de falla ISO* **pág. 42**.

Síntomas comunes de problemas en rodamientos

Por lo general, los síntomas de problemas en los rodamientos se pueden reducir a unos pocos que se enumeran aquí. Cada síntoma se desglosa en categorías de condiciones que pueden llevar a esos síntomas (→ **tabla 1**). Cada condición tiene un código numérico que se refiere a las soluciones prácticas para esa condición específica (→ **tabla 2, pág. 16**).

La información sobre resolución de problemas que se presenta en esta sección se debe utilizar solo como guía.

Fig. 2



Tabla 1

Síntomas comunes de problemas en rodamientos

- A Calor excesivo → **tabla 1a**
- B Niveles excesivos de ruidos → **tabla 1b**
- C Niveles excesivos de vibración → **tabla 1c, pág. 14**
- D Movimiento excesivo del eje → **tabla 1d, pág. 14**
- E Momento de fricción excesivo para girar el eje → **tabla 1e, pág. 15**

Tabla 1a

Síntoma A: Calor excesivo

Causa posible	Código de solución
Problema de lubricación	
• Lubricante insuficiente: muy poca grasa, o nivel de aceite demasiado bajo	1
• Exceso de lubricante: demasiada grasa sin la capacidad de purga, o nivel de aceite demasiado alto	2
• Tipo de lubricante incorrecto: consistencia incorrecta, viscosidad incorrecta, aditivos incorrectos	3
• Sistema de lubricación incorrecto	4
Condiciones de sellado	
• Sellos de soporte demasiado apretados, u otros componentes obstruyen los sellos	5
• Múltiples sellos en una disposición de rodamientos (soporte)	6
• Desalineación de los sellos exteriores (soporte)	7
• Velocidad de funcionamiento demasiado alta para los sellos de contacto de un rodamiento	8
• Sellos sin lubricación apropiada	9
• Sellos orientados en la dirección incorrecta	10
Juego insuficiente en la operación	
• Selección incorrecta del juego interno inicial del rodamiento	11
• El material del eje se expande más que el acero del rodamiento (p. ej. acero inoxidable)	12
• Gran diferencia de temperatura entre el eje y el soporte (soporte mucho más frío que el eje)	13
• Calado excesivo sobre un asiento cónico	14
• Eje o soporte completamente fuera de circularidad: estrechamiento del rodamiento en un soporte ovalizado	15
• Ajuste de interferencia excesivo del eje o diámetro del asiento del eje sobredimensionado	16
• Ajuste de interferencia excesivo del soporte o diámetro del asiento del soporte subdimensionado	17
Carga incorrecta del rodamiento	
• Rodamientos demasiado cargados como resultado de cambiar los parámetros de la aplicación	18
• Desalineación paralela de dos unidades	19
• Desalineación angular de dos unidades	20
• Rodamiento instalado al revés	21
• Condición de desbalanceo	22
• Rodamiento incorrecto en posición fija	23
• Cargas axiales inducidas excesivas	24
• Carga insuficiente	25
• Precarga excesiva	26

Tabla 1b

Síntoma B: Niveles excesivos de ruidos

Causa posible	Código de solución
Contacto metal-metal	
• Lubricante insuficiente	1
• Película de aceite demasiado fina para las condiciones de funcionamiento	3
• Deslizamiento de los elementos rodantes	25
Contaminación	
• Muecas en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido al ingreso y desplazamiento excesivo de contaminantes sólidos	27
• Partículas sólidas que quedan en el soporte, de la fabricación o de fallas anteriores	28
• Contaminantes líquidos que reducen la viscosidad del lubricante	29
Ajustes demasiado flojos	
• Deformación del aro interior (giro) sobre el eje	30
• Deformación del aro exterior (giro) sobre el soporte	31
• Tuerca de fijación del rodamiento floja sobre el eje o sobre el manguito	32
• Rodamiento no sujeto firmemente contra los componentes de contacto	33
• Juego interno radial/axial excesivo en el rodamiento	34
Daño en la superficie	
• Desgaste abrasivo por lubricación ineficaz	1, 2, 3, 4
• Adherencias debido al deslizamiento de los elementos rodantes	25
• Muecas en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido al rolado de contaminantes sólidos	27
• Muecas en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes por cargas de impacto	35
• Marcas de vibrocorrosión en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a la vibración estática	36
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a fatiga del material	37
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a daño iniciado en la superficie	38
• Corrosión en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a contaminantes químicos/líquidos	39
• (Micro) descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a humedad o a corriente eléctrica	40
• Estriado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido al pasaje de corriente eléctrica	41
Rozamiento	
• Sellos del soporte instalados incorrectamente	7
• Manguito de montaje o de desmontaje montado incorrectamente	32
• Anillos espaciadores incorrectamente sujetos	33
• Pestañas de las arandelas de fijación dobladas	42

Tabla 1c

Síntoma C: Niveles excesivos de vibración

Causa posible	Código de solución
Contacto metal-metal	
• Deslizamiento de los elementos rodantes	25
Contaminación	
• Caminos de rodadura y/o elementos rodantes con muescas debido al ingreso y rolado de contaminantes sólidos	27
• Partículas sólidas que quedan en el soporte, de la fabricación o de fallas anteriores	28
Ajustes demasiado flojos	
• Deformación del aro interior (giro) sobre el eje	30
• Deformación del aro exterior (giro) sobre el soporte	31
Daño en la superficie	
• Desgaste por lubricación ineficaz	1, 2, 3, 4
• Adherencias debido al deslizamiento de los elementos rodantes	25
• Muecas en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido al rolado de contaminantes sólidos	27
• Muecas en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes por cargas de impacto	35
• Marcas de vibrocorrosión en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a la vibración estática	36
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a fatiga del material	37
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a daño iniciado en la superficie	38
• Corrosión en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a contaminantes químicos/líquidos	39
• (Micro) descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a humedad o a corriente eléctrica	40
• Estriado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido al pasaje de corriente eléctrica	41

Tabla 1d

Síntoma D: Movimiento excesivo del eje

Causa posible	Código de solución
Soltura	
• Aro interior flojo sobre el eje	30
• Aro exterior excesivamente flojo en el soporte	31
• Rodamiento no sujeto correctamente sobre el eje o en el soporte	32
Daño en la superficie	
• Desgaste por lubricación ineficaz	1, 2, 3, 4
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a fatiga	37
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido al daño iniciado en la superficie	38
Juego interno del rodamiento incorrecto	
• Rodamiento instalado con juego incorrecto	11
• Rodamiento no sujeto correctamente sobre el eje o en el soporte, excesivo juego axial	33

Tabla 1e

Síntoma E: Momento de fricción excesivo para girar el eje

Causa posible	Código de solución
Rodamiento precargado	
• Se seleccionó juego incorrecto para el rodamiento de reemplazo	11
• El material del eje se expande más que el acero del rodamiento (p. ej. acero inoxidable)	12
• Gran diferencia de temperatura entre el eje y el soporte	13
• Calado excesivo sobre un asiento cónico	14
• Eje o soporte completamente fuera de circularidad: estrechamiento del rodamiento	15
• Ajustes de interferencia excesivos en eje y/o soporte	16, 17
• Precarga excesiva - montaje incorrecto (precarga)	26
Arrastre del sello	
• Sellos del soporte demasiado apretados, u otros componentes obstruyen los sellos	5
• Múltiples sellos en una disposición de rodamientos (soporte)	6
• Desalineación de los sellos exteriores (soporte)	7
• Sellos sin lubricación apropiada	9
Daño en la superficie	
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a fatiga	37
• Descascarillado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido a daño iniciado en la superficie	38
• Estriado en los caminos de rodadura y/o elementos rodantes debido al pasaje de corriente eléctrica	41
Diseño	
• Resaltes del eje y/o del soporte fuera de escuadra con el asiento del rodamiento	43
• El resalte del eje es demasiado grande, y obstruye los sellos/protecciones	44

Los problemas y sus soluciones

Las soluciones prácticas a los síntomas comunes de problemas en los rodamientos se encuentran en la **tabla 2, pág. 16**.

¡ADVERTENCIA!

Para reducir el riesgo de lesiones graves, realice los procedimientos de bloqueo/ etiquetado antes de comenzar cualquier trabajo.

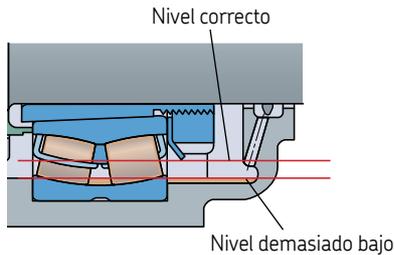
PRECAUCIÓN: El contacto directo con sub-productos petroleros puede causar reacciones alérgicas. Lea las hojas de datos de seguridad de materiales y todas las instrucciones y advertencias antes de manipular lubricantes. Use guantes protectores en todo momento.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

1

**Lubricante insuficiente**

Lubricación con grasa

Consideraciones durante el primer llenado o el arranque:

- La grasa debe llenar el 100% del rodamiento y hasta la parte inferior del eje en el soporte (de 1/3 a 1/2).
- Si la cavidad del soporte a lo largo del rodamiento es pequeña, es posible que sea necesario reducir ligeramente la cantidad de grasa para evitar el sobrecalentamiento por agitación.

Acciones durante el funcionamiento:

- Compruebe si hay desgaste, daño y fugas en los sellos.

Acciones durante la relubricación:

- Asegúrese de que el intervalo de relubricación es correcto (no demasiado largo).
- Asegúrese de que la grasa nueva penetra en el rodamiento.

Lubricación por baño de aceite

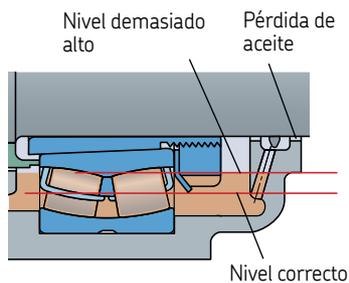
Consideraciones durante el primer llenado, relleno o parada:

- El nivel del baño de aceite debe estar en la mitad del elemento rodante más bajo durante la parada.

Acciones durante el funcionamiento:

- Asegúrese de que el soporte esté correctamente ventilado para evitar la contrapresión, que puede causar el mal funcionamiento de los lubricadores automáticos.
- Compruebe si hay desgaste, daño y fugas en los sellos.
- Compruebe si hay fugas en el soporte partido y aplique una capa fina de empaquetadura para juntas, de ser necesario.

2

**Lubricante excesivo**

Demasiado lubricante puede causar agitación excesiva y temperaturas elevadas

Lubricación con grasa

Consideraciones durante el primer llenado o el arranque:

- La grasa debe llenar el 100% del rodamiento y hasta la parte inferior del eje en el soporte (de 1/3 a 1/2).
- Si la cavidad del soporte a lo largo del rodamiento es pequeña, es posible que sea necesario reducir ligeramente la cantidad de grasa para evitar el sobrecalentamiento por agitación.

Acciones durante el funcionamiento:

- Compruebe si la purga de grasa es posible, ya sea por los sellos o por un tapón de drenaje. Una válvula de escape de grasa podría evitar la aplicación de grasa en exceso.
- Compruebe si los sellos tienen la orientación adecuada, lo que permitirá purgar el exceso de lubricante y excluir los contaminantes.
- Asegúrese de que el intervalo de relubricación no sea demasiado corto.
- Asegúrese de aplicar la cantidad correcta al relubricar.

Lubricación por baño de aceite

Acciones:

- Asegúrese de que el nivel del baño de aceite esté en la mitad del elemento rodante más bajo durante la parada.
- Verifique si hay bloqueos en los agujeros de retorno del aceite.
- Instalar una mirilla en todos los soportes es un modo rápido y sencillo de comprobar si el nivel de aceite de los soportes es el correcto.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

3

**Lubricante incorrecto**

Acciones:

- Revise la aplicación para determinar la viscosidad correcta del aceite base (grasa, aceite) y la consistencia (grasa) requerida para las condiciones específicas de funcionamiento.
- El contacto metal-metal puede llevar a calor excesivo y desgaste prematuro; en última instancia, a niveles de ruido más altos.
- Compruebe la miscibilidad si se ha cambiado el tipo de grasa o de aceite.
- Compruebe la consistencia de la grasa.
- Compruebe la viscosidad de funcionamiento.

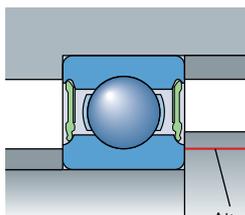
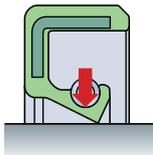
4

Sistema de lubricación incorrecto

Acciones:

- Revise la velocidad de funcionamiento y mida la temperatura de funcionamiento.
- Determine si se utiliza un sistema de lubricación adecuado.
- Cambiar de grasa a aceite puede ser una solución sencilla.
- Cambiar de lubricación por baño de aceite a circulación de aceite puede ser una solución.
- Agregar un enfriador auxiliar a un sistema de lubricación de aceite existente también puede evitar muchos problemas relacionados con el calor.
- Consulte con SKF o con el fabricante del equipo los requerimientos específicos.
- Consulte los valores de velocidad nominal incluidos en la guía de producto del fabricante. Los valores de referencia de SKF y las velocidades límite están disponibles en línea en www.skf.com/bearings.

5



Altura correcta

Los sellos del soporte están demasiado apretados

Acciones:

- Reemplace el sello con uno que tenga la tensión correcta. En forma alternativa, mecanice el eje para obtener la tensión correcta para el actual sello tipo resorte.
- Asegúrese de que los sellos estén correctamente lubricados.
- Compruebe si hay desgaste en los labios de los sellos.
- Los sellos de fieltro se deben remojar en aceite caliente antes de instalarlos.

Otros componentes obstruyen los sellos del rodamiento

Acción:

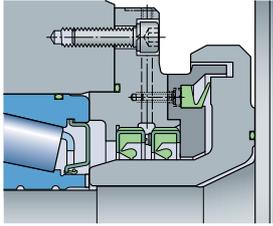
- Compruebe los componentes de contacto de los sellos:
 - altura de resaltes (→ www.skf.com/bearings)
 - posibilidad de tolerar desplazamiento axial si ocurre estiramiento del eje

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

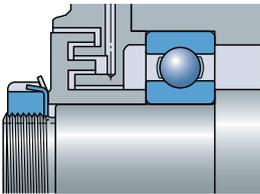
6

**Múltiples sellos en una disposición de rodamientos (soporte)**

Consideraciones:

- Si se utilizan múltiples sellos de contacto para ayudar a excluir contaminantes, se incrementarán la fricción y el calor.
- Antes de agregar sellos adicionales a una aplicación, se deben considerar los efectos térmicos en el rodamiento y el lubricante.
- Además, se debe considerar la energía adicional que se requiere para girar el equipo.

7

**Desalineación de los sellos exteriores (soporte)**

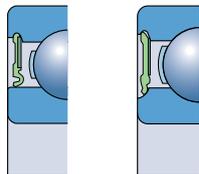
Consideraciones durante el montaje:

- Toda desalineación del eje relativa al soporte o al sello del soporte puede causar el rozamiento de un sello no rozante o del tipo intersticio. Esta condición puede elevar las temperaturas, incrementar los niveles de ruido y acelerar el desgaste durante el período inicial de puesta en marcha. También compromete la integridad del sellado.

Acciones:

- Compruebe la alineación, y corríjala de ser necesario.
- Si no se puede evitar la desalineación, puede haber necesidad de incrementar el juego o los intersticios entre los sellos exteriores.

8



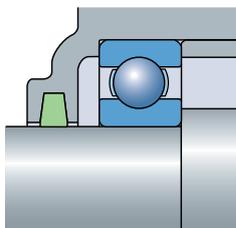
Sellos de contacto

Velocidad de funcionamiento demasiado alta para los sellos de contacto del rodamiento

Consideraciones:

- Los labios de sellos tienen velocidad límite. Si la velocidad de funcionamiento excede dicho límite, causará daño de los labios de sellos y fuga de grasa.
- Si se incrementó la velocidad de funcionamiento, o si se utiliza un rodamiento con un sello diferente, compruebe que el sello del rodamiento pueda tolerar la velocidad.
- Los sellos de contacto generarán más calor que los sellos de baja fricción, las protecciones o los rodamientos abiertos.

9

**Sellos sin lubricación apropiada**

Consideraciones:

- Los sellos de contacto que funcionan en seco pueden agregar alta fricción y calor al sistema.

Acción durante el montaje:

- Asegúrese de que los sellos estén correctamente lubricados en el arranque de equipamiento nuevo o reconstruido.

(Los sellos de fieltro se deben remojar en aceite caliente antes de instalarlos).

Acciones durante el funcionamiento:

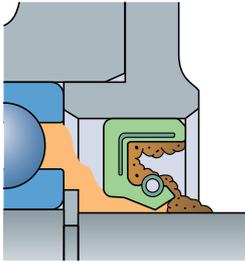
- Normalmente el lubricante dentro del soporte será enviado hacia los sellos, lubricándolos.
- Los sellos lubricados correctamente funcionarán a menor temperatura y crearán un sello eficaz, puesto que cualquier intersticio entre los contactos se llenará con una barrera de lubricante.
- La lubricación correcta también reducirá el desgaste prematuro de los sellos.
- Compruebe si hay desgaste o daño en los sellos.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

10

**Sellos orientados en la dirección incorrecta que no permiten purgar la grasa**

Consideraciones durante el montaje:

- Según la aplicación, es posible que los sellos se tengan que orientar en una dirección específica, para permitir la purga del lubricante o para evitar la fuga de aceite.

Acción:

- Verifique los planos de la aplicación o contacte al fabricante del equipo para determinar la orientación correcta de los sellos en el equipo.

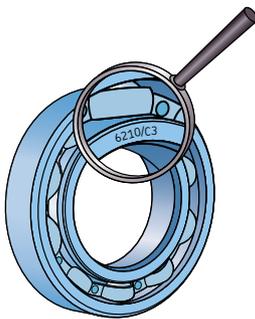
Consideraciones durante el funcionamiento:

- Los labios de sellos hacia afuera, por lo general, permitirán purgar el exceso de lubricante e impedir el ingreso de contaminantes.

Acción:

- Los sellos se deben orientar correctamente para retener la grasa y excluir los contaminantes del rodamiento.

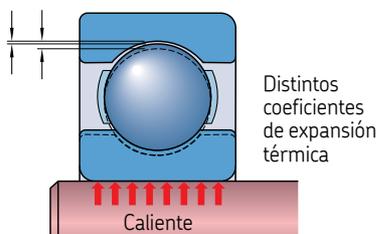
11

**Selección incorrecta del juego interno inicial del rodamiento**

Acción:

- Verifique el empaque y marcación, para asegurarse de que el juego interno del nuevo rodamiento cumple la especificación original de diseño.
- Si se sobrecalienta un rodamiento después de su reemplazo, y si la aplicación requiere mayor juego, contacte al servicio de ingeniería de aplicaciones de SKF para averiguar los efectos de un mayor juego en el equipo y en el rodamiento.
- Compruebe todas las dimensiones, puesto que el desgaste de componentes puede influir en el juego.

12 Juego reducido

**El material del eje (y soporte) se expande más que el acero del rodamiento**

Consideraciones durante el rediseño o la remanufactura:

- En algunos casos, los materiales del eje y del soporte se podrían cambiar, por ejemplo, el eje de acero inoxidable para cumplir las normas alimentarias, o el soporte de aluminio para reducir el peso del equipo.
- Cuando el coeficiente de expansión térmica del material del eje es mayor que el del acero del rodamiento, se reduce aún más el juego interno radial. Por lo tanto, para ciertos materiales de acero inoxidable para ejes (serie 300), se requiere un ajuste de eje más flojo o un rodamiento con mayor juego interno radial, p. ej. CN a C3, C3 a C4, etc.
- Si se utiliza un soporte fabricado en un material con coeficiente de expansión térmica mayor que el del acero del rodamiento, p. ej. aluminio, se puede necesitar un ajuste ligeramente más apretado para evitar que el aro exterior gire en el asiento del soporte.

Acción:

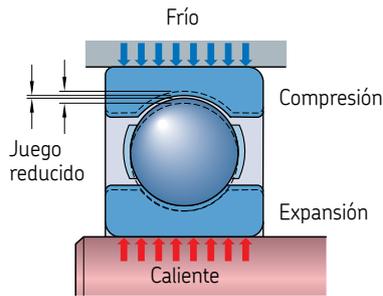
- En ambos casos, podría ser necesario calcular el efecto del nuevo material del eje o soporte sobre el juego interno del rodamiento, y reemplazar el rodamiento.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

13



Gran diferencia de temperatura entre el eje y el soporte

Consideraciones durante el diseño:

- Debido al diseño, en las disposiciones de rodamientos, con frecuencia, la temperatura del aro interior es mayor que la del aro exterior. Por ejemplo, el eje de un motor eléctrico está relativamente caliente, y hace que el aro interior se expanda. La superficie de las tapas del motor que contienen los aros exteriores es bastante grande, lo que permite la disipación del calor, y así la diferencia de temperatura es significativa.

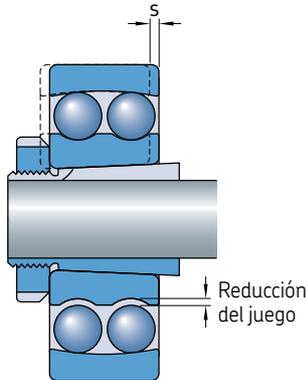
Consideraciones durante el funcionamiento:

- Una gran diferencia de temperatura entre el eje y el soporte reduce el juego interno del rodamiento, y puede dar lugar a un juego demasiado pequeño, incluso precarga, y causar altas temperaturas de funcionamiento.

Acciones:

- Compruebe las temperaturas del eje y soporte que estén más cerca del rodamiento.
- Si se justifica, seleccione un rodamiento con mayor juego interno para evitar la precarga, p. ej. CN a C3, C3 a C4, etc.

14



Calado excesivo sobre un asiento cónico

Consideraciones durante el montaje:

- Montar un rodamiento con agujero cónico sobre un asiento cónico (eje o manguito) reduce el juego interno radial dentro del rodamiento.

Consideraciones durante el funcionamiento:

- Los calados excesivos pueden resultar en muy poco juego interno, incluso en precarga. Esto provoca temperaturas de funcionamiento más altas.
- Los calados excesivos pueden resultar en tensiones circunferenciales demasiado altas en el rodamiento, que provocan grietas en el aro interior.

Acciones

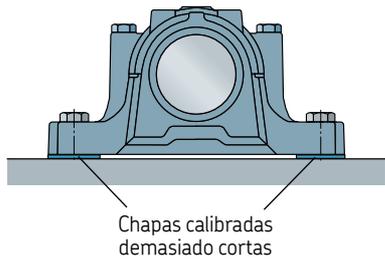
- Rodamientos de bolas a rótula: Después de montar sobre el eje, compruebe si el aro exterior se puede girar con facilidad. De lo contrario, desmonte el rodamiento y comience el procedimiento de montaje desde el principio.
- Montaje de los rodamientos de rodillos a rótula y de los rodamientos de rodillos toroidales CARB: Compare el juego resultante después del montaje con el juego inicial del rodamiento (→ *Catálogo SKF de Rodamientos de rodillos* o *Manual de mantenimiento de rodamientos SKF*) para obtener los valores máximos de reducción del juego. Si el juego es insuficiente, desmonte el rodamiento y comience el procedimiento de montaje desde el principio.
- Al montar, utilice el método de calado de rodamientos SKF Drive-up o el método basado en el ángulo de apriete para los rodamientos de bolas a rótula; el método SKF Drive-up o el de reducción de juego para los rodamientos de rodillos a rótula y los rodamientos toroidales CARB. El probado método de calado de rodamientos SKF Drive-up es una manera sencilla de alcanzar el juego de funcionamiento correcto sin utilizar galgas de espesores. Utilice SensorMount para rodamientos muy grandes.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

15



El asiento del rodamiento está fuera de circularidad

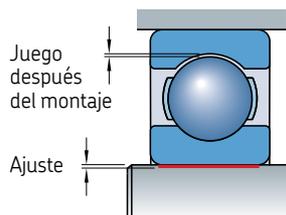
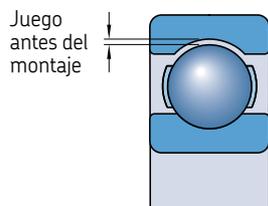
Consideraciones durante el funcionamiento:

- El aro exterior de un rodamiento en un soporte fuera de circularidad o distorsionado (ovalidad/estrechamiento) ocasiona juego reducido o precarga e incremento de la temperatura de funcionamiento.
- Esto se caracteriza con frecuencia por dos zonas de carga en el aro exterior, separadas a 180°.
- La ovalidad también puede restringir el movimiento axial del rodamiento libre e inducir altas cargas axiales.

Acciones:

- Compruebe que la superficie de apoyo es plana, para evitar la pata coja. Las chapas calibradas deben cubrir el área total de la base del soporte.
- Asegúrese de que la superficie de apoyo del soporte es lo suficientemente rígida para evitar la flexión.
- Compruebe la circularidad (ovalidad) de los asientos del eje y del soporte. Repárelo de ser necesario.

16



Ajuste de interferencia excesivo del eje o diámetro del asiento del eje sobredimensionado

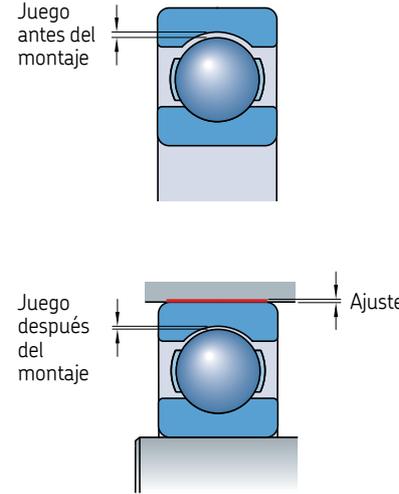
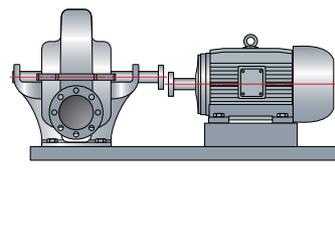
Consideraciones durante el diseño:

- Con frecuencia se requiere un ajuste de interferencia entre el aro interior del rodamiento y el asiento del eje, aunque se expandirá el aro interior y se reducirá el juego interno del rodamiento.
- Si el ajuste es demasiado apretado, puede resultar en un juego insuficiente para que funcione el rodamiento, o incluso en precarga. Esto conducirá a un rodamiento que funcione a alta temperatura.

Acciones:

- Compruebe que el rodamiento instalado tiene el juego interno correcto.
- Si el eje es nuevo o reacondicionado, compruebe con cuidado las dimensiones del asiento del rodamiento, en su precisión de forma y dimensional.
- Antes de tomar cualquier acción correctiva, compruebe las dimensiones del agujero del soporte.
- Si todas las dimensiones se ajustan a especificación, podría necesitarse un rodamiento con mayor juego interno.
- Nótese que el resultado probable de un ajuste de interferencia en el eje y en el soporte será el juego insuficiente para funcionar.

Los problemas y sus soluciones

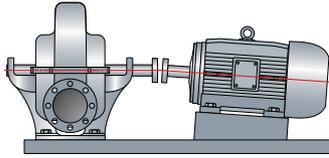
Código de solución	Condición/Solución práctica
<p>17</p> 	<p>Ajuste de interferencia excesivo del soporte o diámetro del asiento del soporte subdimensionado</p> <p>Consideraciones durante el diseño:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Se puede necesitar un ajuste de interferencia entre el aro exterior del rodamiento y el asiento del soporte, pero comprimirá al aro exterior y reducirá el juego interno. • Si el ajuste es demasiado apretado, puede resultar en un juego insuficiente para que funcione el rodamiento o incluso en precarga. Esto conducirá a un rodamiento que funcione a alta temperatura. <p>Acciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compruebe que el rodamiento instalado tiene el juego interno correcto. • Si el rodamiento es nuevo o reacondicionado, compruebe cuidadosamente las dimensiones del asiento del rodamiento en su precisión de forma y dimensional. Rectifique otra vez el asiento del rodamiento al ajuste adecuado. De no ser posible, utilice un rodamiento con un juego interno más grande. • Tenga en cuenta que si se tiene interferencia en el eje y el alojamiento es probable que el juego en operación se reducido. • Nótese que, en caso de carga rotativa sobre el aro interno, un ajuste de interferencia en el soporte causará que el rodamiento "libre" quede fijo, induciendo una carga axial y calor excesivo.
<p>18</p>	<p>Rodamientos demasiado cargados como resultado de cambiar los parámetros de la aplicación</p> <p>Consideraciones durante el rediseño o la refabricación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incrementar las cargas externas en un rodamiento generará más calor dentro del rodamiento. • Las cargas más pesadas reducirán la vida útil del rodamiento. • Por lo tanto, si se cambia el diseño, revise las cargas para asegurarse de que no se han incrementado. <p>Ejemplos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pasar de un acoplamiento a una transmisión por correa. • Pasar de un acoplamiento a una polea. • Incrementar la velocidad de un equipo. <p>Acción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los cambios en el desempeño de un equipo se deben revisar con el fabricante de equipos originales.
<p>19</p> 	<p>Desalineación paralela de dos unidades</p> <p>Consideraciones durante el montaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los dos soportes no están en línea recta (vertical u horizontalmente). • Esto induce cargas adicionales sobre rodamientos y sellos, lo que incrementa la fricción y la temperatura y reduce la vida útil de rodamientos, sellos y lubricante. <p>Acción:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alinee los soportes utilizando el equipo adecuado, y chapas calibradas para realinear verticalmente.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

20

**Desalineación angular de dos unidades**

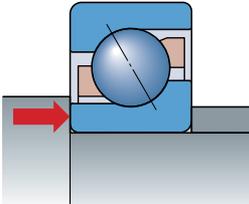
Consideraciones durante el montaje:

- Las dos superficies de apoyo no están alineadas; una está en ángulo en relación con la otra.
- Esto induce cargas adicionales en los rodamientos y sellos, lo que incrementa la fricción y la temperatura, y reduce la vida útil de rodamientos, sellos y lubricante.

Acción:

- Alinee los soportes utilizando el equipo adecuado y chapas calibradas.

21

**Rodamiento instalado al revés causa la descarga de los rodamientos de bolas de contacto angular**

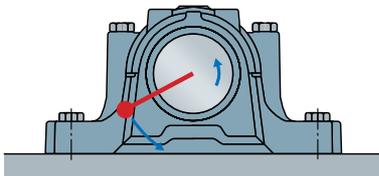
Consideraciones durante el montaje:

- Los rodamientos direccionales se deben instalar en la dirección correcta para que funcionen correctamente.
- Por ejemplo: Los rodamientos de una hilera de bolas de contacto angular solo pueden tolerar cargas axiales en una dirección. Si se instalan al revés, será el hombro bajo del aro interno el que tome la carga axial, lo que daña al rodamiento, incrementa el calor que este genera y lleva a su falla prematura.

Acción:

- Durante el montaje, asegúrese de que la carga axial la tome el hombro "alto".

22

**Condición de desbalance**

Consideraciones durante el funcionamiento:

- Una carga desbalanceada puede generar una carga rotativa sobre el aro exterior que incrementa significativamente el calor que genera el rodamiento mientras incrementa la carga sobre el rodamiento.

Acciones:

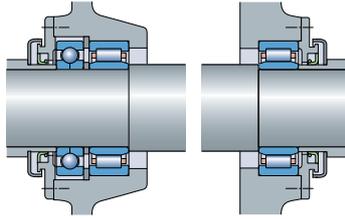
- Verifique si se acumularon suciedad o contaminantes en el rotor.
- Balancee el equipo.
- Tenga en cuenta que un asiento de soporte demasiado holgado causará también vibración y giro del aro externo.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

23

**Fijación radial incorrecta**

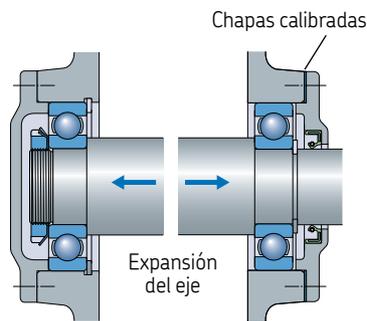
Consideraciones durante el diseño o el montaje:

- En algunas aplicaciones, la disposición de rodamientos para la posición fija consta de un rodamiento radial y uno axial.
- Si el rodamiento radial se fija axialmente, estará expuesto a cargas axiales, lo que resultará en cargas combinadas demasiado pesadas. Esto puede llevar a temperaturas excesivas y a la posible falla prematura del rodamiento.
- Si el rodamiento axial se fija radialmente, estará sometido a cargas radiales, lo que resultará en cargas combinadas pesadas o demasiado pesadas. Esto puede llevar a temperaturas excesivas y a la posible falla prematura del rodamiento.

Acción:

- Asegúrese de que el rodamiento radial no tenga carga axial, y que el rodamiento axial no tenga carga radial. Para evitar que el aro exterior del rodamiento axial gire, se debe proveer un tope, p. ej. un rodamiento de bolas con cuatro puntos de contacto por lo general tiene ranuras de fijación en el aro exterior.

24

**La fijación cruzada impide la expansión del eje**

Consideraciones durante el diseño o el montaje:

- Cuando los rodamientos están en fijación cruzada y la expansión del eje está demasiado limitada, se inducirán cargas axiales internas en ambos rodamientos.
- Las cargas inducidas pueden causar temperaturas de funcionamiento excesivas y un mayor momento de fricción.
- Las cargas inducidas pueden ser pesadas y conducir a descascarillado prematuro por fatiga.

Acciones:

- Inserte chapas calibradas entre el soporte y la tapa lateral para obtener el juego adecuado entre la tapa y la cara lateral del aro exterior, para evitar la precarga axial de los rodamientos.
- Determinar el crecimiento térmico esperado del eje debería ayudar a establecer el juego que se requiere entre la cara lateral del aro exterior del rodamiento y la tapa del soporte.

25

**Adherencias causadas cuando se deslizan elementos rodantes con carga insuficiente (deslizamiento)**

Consideraciones durante el diseño:

- Para proporcionar un funcionamiento satisfactorio y evitar las adherencias, todos los rodamientos de bolas y de rodillos siempre deben estar sometidos a una carga mínima dada (→ www.skf.com/bearings).
- Si no se cumple el requisito de carga mínima, puede ocurrir deslizamiento. Esto genera calor y ruido excesivos. Las grasas extremadamente rígidas pueden contribuir a esta condición, en especial en entornos muy fríos.

Acciones:

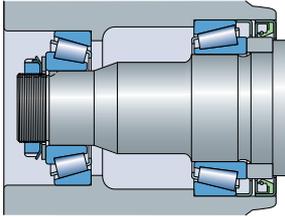
- Se pueden aplicar otras cargas externas, p. ej. aplicar resortes de precarga a las caras laterales del aro exterior.
- De forma alternativa, podría necesitarse un rodamiento con distinto juego interno, o de un tipo diferente.
- Reducir el tamaño del rodamiento también podría ser una solución.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

26

**Ajuste del rodamiento causa precarga excesiva**

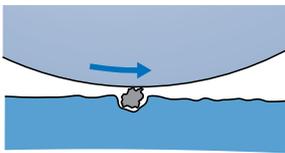
Consideraciones durante el montaje:

- Cuando se ajusta el juego axial o la precarga en una disposición de rodamientos, apretar en exceso el dispositivo de ajuste (tuerca de fijación) puede originar precarga excesiva y temperatura de funcionamiento excesiva.
- La precarga excesiva también incrementará el momento de fricción en los rodamientos.
- Ejemplo: rodamientos de rodillos cónicos o rodamientos de bolas de contacto angular con un rodamiento en cada extremo del eje.

Acciones:

- Verifique con el fabricante del equipo los procedimientos de montaje correctos para fijar el juego axial o precarga en el equipo.
- Utilice un reloj indicador para medir el movimiento axial del eje durante y después del ajuste.

27

**Los contaminantes sólidos ingresan en el rodamiento y mellan las superficies rodantes**

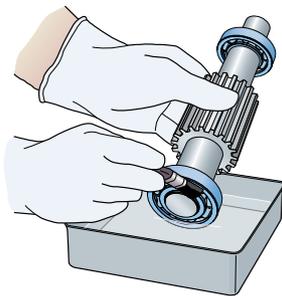
Consideraciones durante el funcionamiento:

- Los contaminantes pueden dañar las superficies de contacto del rodamiento, y así incrementan los niveles de ruido y vibraciones. En algunos casos, también pueden incrementarse las temperaturas.

Acciones:

- Verifique la disposición de rodamientos para confirmar lo siguiente:
 - Se utilizó el sello correcto.
 - El sello se instaló correctamente.
 - No hay desgaste ni daño del sello, ni fuga de lubricante.
- Es posible que se tenga que acortar el intervalo de relubricación. Suministrar cantidades pequeñas de grasa nueva con mayor frecuencia puede ayudar a purgar la grasa contaminada de la cavidad del rodamiento/soporte.
- Considere reemplazar los rodamientos abiertos por los sellados.

28

**Sólidos procedentes de la fabricación o de fallas previas de rodamientos en el soporte**

Consideraciones durante la limpieza o montaje, y sobre la limpieza del lubricante:

- Puede ocurrir indentación de las superficies de contacto del rodamiento cuando quedan contaminantes sólidos por una falla anterior en el soporte, por desgaste de otros componentes como engranajes o por lubricante contaminado.
- Esto puede incrementar la temperatura, y los niveles de ruido y vibraciones.

Acciones:

- Elimine cualquier rebaba y asegúrese de que todas las superficies mecanizadas estén lisas.
- Limpie cuidadosamente el soporte y todos sus componentes antes de instalar un rodamiento nuevo.
- Asegúrese de que el lubricante aplicado esté limpio y no contiene ningún contaminante. (Los envases de grasa se deben cerrar y almacenar correctamente).

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

29

**Los contaminantes líquidos reducen la viscosidad del lubricante**

Consideraciones durante el montaje o lubricación y acerca del sellado:

- Los contaminantes líquidos reducen la viscosidad del lubricante, lo que puede ocasionar contacto metal-metal.
- Además, pueden causar la formación de herrumbre en las superficies de contacto del rodamiento.
- Estas condiciones provocan incremento de temperatura, de desgaste y de niveles de ruido.

Acciones:

- Verifique los sellos del soporte para asegurarse de que pueden impedir de manera adecuada el ingreso de contaminantes líquidos. De forma alternativa, considere utilizar rodamientos sellados.
- Es posible que se tenga que acortar el intervalo de relubricación. Suministrar cantidades pequeñas de grasa nueva con mayor frecuencia puede ayudar a purgar la grasa contaminada de la cavidad del rodamiento/soporte.

30

**El aro interno se gira sobre el eje**

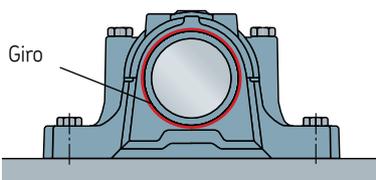
Consideraciones acerca de ajustes o deformación:

- La mayor parte de las aplicaciones tienen un eje giratorio donde la carga es unidireccional. Esta se considera una carga rotativa sobre el aro interior y requiere un ajuste apretado sobre el eje para evitar el movimiento relativo. El desempeño correcto de los rodamientos depende mucho de los ajustes correctos.
- Sin embargo, un aro interior puede girar sobre el asiento de su eje si éste está subdimensionado o desgastado.
- Esto ocasiona mayores niveles de ruido y vibración, y también desgaste.

Acción:

- Metalice y rectifique el asiento del eje al tamaño adecuado.

31

**Giro del aro exterior en el asiento del soporte**

Alojamiento desgastado o sobredimensionado

Consideraciones acerca de ajustes:

- La mayor parte de las aplicaciones tienen un soporte estacionario donde la carga es unidireccional. Esta se considera una carga estacionaria sobre el aro exterior y, en la mayoría de las condiciones, el aro exterior se puede mantener en su lugar con un ajuste flojo.
- Sin embargo, un aro exterior puede girar en el asiento de su soporte si el asiento está sobredimensionado o desgastado.
- Esto ocasiona mayores niveles de ruido y vibración, y también desgaste.

Acciones:

- Metalice y rectifique el asiento del eje al tamaño adecuado.
- Para soportes grandes, podría ser una solución mecanizar el asiento a un diámetro más grande y utilizar una camisa

Carga desbalanceada

Consideraciones acerca de ajustes:

- Las cargas resultantes de un eje desbalanceado pueden causar giro del aro exterior, aunque los ajustes sean correctos.

Acciones:

- Elimine el origen del desbalanceo.
- Vuelva a balancear el equipo.

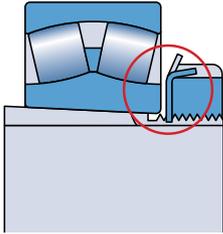


Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

32

**La tuerca de fijación del rodamiento está floja sobre el eje o el manguito adaptador**

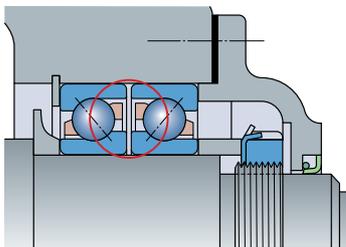
Consideraciones durante el montaje:

- Una tuerca de fijación floja puede causar que el rodamiento se afloje de su asiento.
- A su vez, esto puede ocasionar que el aro interior se gire sobre el asiento de su eje.
- Esta condición puede incrementar los niveles de ruido y el calor que genera el rodamiento, pero también lleva a una mala posición del rodamiento.

Acciones:

- Apriete la tuerca de fijación para obtener la posición adecuada del aro interior (juego interno del rodamiento).
- Asegúrese de que la tuerca de fijación esté correctamente trabada, con la pestaña de una arandela de fijación, por ejemplo, cuando se completa el montaje.

33

**El rodamiento no está firmemente sujeto contra los componentes de contacto**

Consideraciones durante el montaje:

- Un rodamiento que no esté firmemente sujeto contra un componente de contacto podría no alcanzar el juego interno o la precarga necesarios.
- Esta condición puede incrementar los niveles de ruido y tiene un impacto negativo sobre el desempeño del rodamiento.

Ejemplos:

- Un par de rodamientos de bolas de contacto angular apareados que no están sujetos correctamente.
- Esto puede incrementar el juego axial en el par de rodamientos, y ocasionar daño por deslizamiento de las bolas (adherencias), mayor nivel de ruidos y problemas de lubricación.
- No sujetar correctamente el rodamiento afectará la posición del eje.

Acción:

- Asegúrese de que el dispositivo de fijación posiciona a ambos rodamientos contra el resalte del eje o el espaciador.

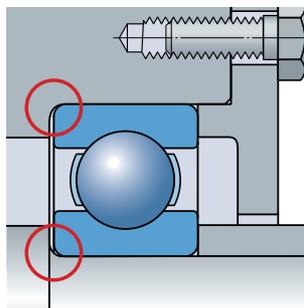
Chaflán (radio de entalle) demasiado grande

Consideraciones durante el montaje:

- Si el chaflán de un componente de contacto es demasiado grande, el rodamiento no tendrá el apoyo correcto.
- Esta condición puede distorsionar los aros del rodamiento.
- El rodamiento no alcanzará el juego interno correcto (precarga).

Acción:

- Mecanice el chaflán para obtener el apoyo correcto.

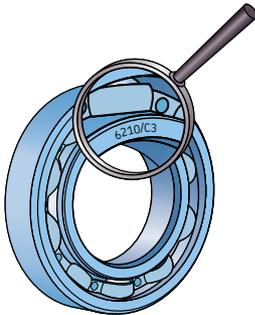


Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

34

**Juego interno radial o axial demasiado grande en un rodamiento**

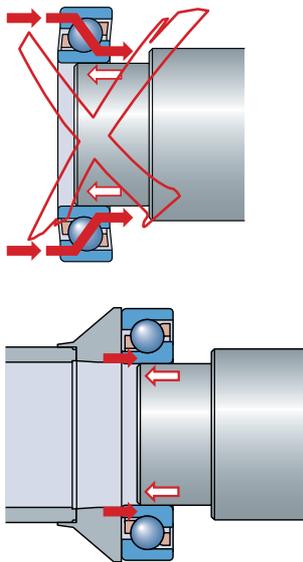
Consideraciones durante el funcionamiento:

- El juego interno radial o axial excesivo puede incrementar los niveles de ruido, porque los elementos rodantes pueden moverse libremente fuera de la zona de carga.
- Además, demasiado juego también puede tener un efecto perjudicial en el desempeño del rodamiento debido al deslizamiento de los elementos rodantes.

Acciones:

- El uso de resortes o arandelas de precarga puede proporcionar una adecuada carga axial para mantener los elementos rodantes cargados en todo momento (principalmente en aplicaciones con rodamientos de bolas).
- Revise el juego inicial necesario del rodamiento; ajuste la selección del juego donde corresponda.

35

**Las superficies rodantes están melladas por los impactos o las cargas de choque (método de montaje incorrecto)**

Consideraciones durante el diseño:

- La mayoría de los rodamientos se montan con un ajuste de interferencia en el eje o en el soporte.

Consideraciones durante el montaje:

- Cuando se monta el aro del rodamiento con ajuste de interferencia, aplique siempre fuerza al aro que se está montando. Nunca permita que la fuerza de montaje se transmita a través de los elementos rodantes, ya que esto puede mellar fácilmente los caminos de rodadura y los elementos rodantes.
- El daño resultante puede incrementar los niveles de ruido y vibración y la temperatura.
- Es probable que el rodamiento falle en forma prematura.

Acciones:

- Reemplace el rodamiento.
- Nunca martille en forma directa ninguna parte del rodamiento mientras se monta. Utilice siempre un manguito de montaje.
- Revise los procedimientos de montaje para asegurar que no se aplican fuerzas de montaje a través de los elementos rodantes.
- Utilice una herramienta para montar rodamientos. (El kit de herramientas de montaje de rodamientos SKF es una herramienta excelente para los rodamientos más pequeños).

36

**Las superficies rodantes sufren vibrocorrosión debido a vibración**

Consideraciones durante el funcionamiento:

- Mientras un equipo no gira, las vibraciones de otros equipos pueden producir vibrocorrosión en los caminos de rodadura. Este daño ocurre por lo general en la zona cargada, y se caracteriza por las depresiones en los caminos de rodadura que coinciden con la distancia entre los elementos rodantes.
- Este problema común ocasiona ruido en el equipo en espera que no funciona durante períodos prolongados.

Acciones:

- Gire periódicamente el eje del equipo en espera para ayudar a minimizar los efectos de la vibración.
- La solución real sería aislar el equipo de la vibración, pero no siempre es posible.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

37

**Las superficies rodantes se descascaran debido a la fatiga del material**

Consideraciones durante el funcionamiento:

- La fatiga pura del material es rara en un rodamiento de rodillos de alta calidad.
- El descascarillado por fatiga, cuando ocurre, es por lo general el resultado de una condición de funcionamiento anormal que lleva a una mayor tensión en el rodamiento, como desalineación, ovalización del alojamiento, o el resultado de defectos del material como inclusiones o acero de poca calidad.

Acciones:

Utilice solo rodamientos de alta calidad.

- Verifique si hay rodamientos dañados por desalineación. Alinee otra vez, de ser necesario.
- Verifique si hay rodamientos dañados por posible ovalización del alojamiento. Repare y mecanice los asientos de ser necesario.

38

**Las superficies rodantes se descascarillan debido a la fatiga iniciada en la superficie**

Consideraciones durante el funcionamiento:

- La lubricación inadecuada conduce al contacto metal-metal entre las superficies rodantes.
- Las causas incluyen, entre otras: viscosidad demasiado baja a temperatura de funcionamiento, partículas del desgaste y el ingreso de contaminantes.

Acciones:

- Revise la viscosidad operativa del lubricante, tomando en cuenta las condiciones reales de funcionamiento.
- Para remover las partículas del desgaste, considere una relubricación más frecuente.
- Verifique la condición de la disposición de sellos.

**Las superficies rodantes están descascarilladas, a partir de daño en la superficie**

Consideraciones durante el montaje o el funcionamiento:

- El daño iniciado en la superficie incluye condiciones tales como muescas por impacto, vibrocorrosión por vibración, corrosión por agua, mellado por partículas, pasaje de corriente eléctrica, etc.

Acciones:

- Identifique el origen del daño y tome la acción adecuada, p. ej., elimine el impacto a través de los elementos rodantes durante el montaje, reemplace los sellos para evitar el ingreso de contaminantes, conecte a tierra el equipo correctamente, etc.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

39

**Corrosión de las superficies rodantes debido a contaminantes químicos/líquidos (agua, ácidos, gases u otros corrosivos)**

Durante la parada:

- La corrosión ocurre cuando el equipo está parado y es más común en los rodamientos lubricados con grasa.
- El daño por corrosión estática, por lo general, se produce en el elemento rodante.

Acciones:

- Verifique el sistema de sellado.
- Mejore la disposición de sellos instalando una placa de protección y/o aro deflector.
- Suministrar cantidades pequeñas de grasa nueva con mayor frecuencia puede ayudar a purgar la grasa contaminada de la cavidad del rodamiento/soporte.
- Gire periódicamente el eje para minimizar los efectos perjudiciales de la corrosión estática.

40

Los caminos de rodadura y/o los elementos rodantes tienen (micro) descascarillados

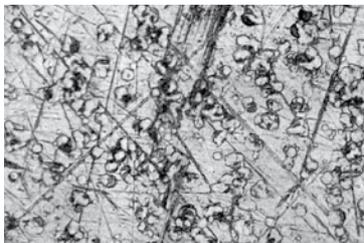
Durante el funcionamiento:

- El microdescascarillado de las superficies rodantes, a veces llamado picadura, es el resultado de contaminantes corrosivos o de fuga de corriente (erosión eléctrica).
- Cualquiera sea la causa, se producirán mayores niveles de ruido y vibración.

Acciones:

- → Códigos de solución **39** y **41**.

41

**Los caminos de rodadura y/o los elementos rodantes tienen cráteres o estriado**

Durante el funcionamiento:

- Fuga de corriente (erosión eléctrica) – corriente que pasa a través del rodamiento y podría ocasionar cráteres en la superficie. Como son muy pequeños, apenas se pueden ver sin magnificación. El detector del paso de corriente eléctrica SKF es un instrumento sin contacto que puede ayudar a establecer la presencia de descargas eléctricas.

Acciones:

- Magnifique el área de 500 a 1 000 veces para confirmar la presencia de cráteres.

**Estriado de superficies rodantes**

Durante el funcionamiento:

- El estriado de los caminos de rodadura es un daño secundario, que se atribuye más comúnmente al pasaje de corriente eléctrica perjudicial a través del rodamiento.
- En algunos casos raros, el aspecto de ondulación puede ser el resultado de la vibración durante el funcionamiento.
- La corriente a través del rodamiento se puede originar en problemas de conexión a tierra, variadores de frecuencia, cableado, diseño del motor y maquinaria conducida.

Acciones:

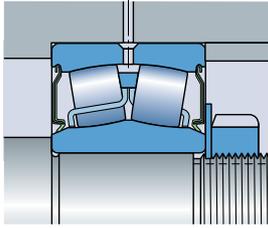
- Verifique que el equipo esté correctamente conectado a tierra.
- Si la conexión a tierra adecuada no corrige el problema, las soluciones alternativas incluyen los rodamientos INSOAT (con recubrimiento aislante), los rodamientos híbridos (con elementos rodantes cerámicos) o el uso de un manguito aislante en el alojamiento del soporte.

Los problemas y sus soluciones

Código de solución

Condición/Solución práctica

42



Las pestañas de las arandelas de fijación están dobladas y obstruyen la jaula o los sellos del rodamiento

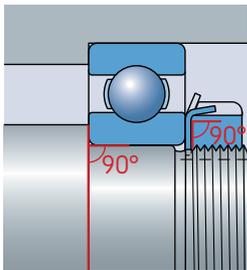
Consideraciones durante el montaje:

- Las pestañas de algunas arandelas de fijación están dobladas y pueden obstruir la jaula o los sellos del rodamiento, generan ruido y aceleran desgaste y daño.
- Las arandelas de fijación usadas también pueden tener una pestaña de fijación sin daño aparente, que puede dañarse después.

Acciones:

- Nunca reutilice las arandelas de fijación.
- Utilice una tuerca de fijación KMFÉ, que tiene un espaciador incorporado para evitar este tipo de daños; de forma alternativa, puede colocarse un anillo intermedio entre el rodamiento y la tuerca de fijación.

43



Los resaltes del eje y/o soporte están fuera de escuadra con el asiento del rodamiento

Consideraciones acerca de resaltes mecanizados durante el montaje:

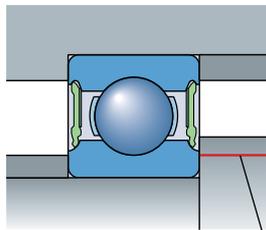
- Los resaltes del eje/soporte fuera de escuadra pueden distorsionar los aros del rodamiento, y así incrementar el momento de fricción del rodamiento y generar calor.

- → Códigos de solución **19** y **20**.

Acción:

- Mecanice las piezas para alcanzar la perpendicularidad correcta.

44



Altura correcta

El resalte del eje es demasiado alto y obstruye los sellos/las protecciones

Consideraciones acerca de resaltes mecanizados durante el montaje o el funcionamiento:

- Si el resalte es demasiado alto, puede obstruir los sellos/las protecciones.

Acciones:

- Verifique que el diámetro del resalte está de acuerdo con las recomendaciones, disponibles en línea en www.skf.com/bearings.
- Mecanice el resalte del eje para despejar los sellos/las protecciones.

3 Patrones de pista

Un rodamiento nuevo tiene un aspecto hermoso, como una obra de arte (→ **fig. 1**). Sus componentes se fabricaron según dimensiones exactas, con frecuencia hasta de fracción de micrón. Las dimensiones de los componentes y el rodamiento montado se controlaron durante el proceso de fabricación. Las áreas rectificadas, tales como las superficies de los aros interiores y exteriores y los elementos rodantes lucen muy brillantes.

Por el contrario, al examinar un rodamiento que ha funcionado algún tiempo, se observan una cantidad de cambios tales como:

- áreas mayormente opacas en los caminos de rodadura de los aros (→ **fig. 2**) y elementos rodantes; a veces, también áreas extremadamente brillantes
- desgaste de la jaula
- marcas de deformación en el agujero del aro interior o en la superficie exterior del aro exterior
- corrosión por contacto en el agujero del aro interior o en la superficie exterior del aro exterior
- descascarillado en los elementos rodantes y caminos de rodadura

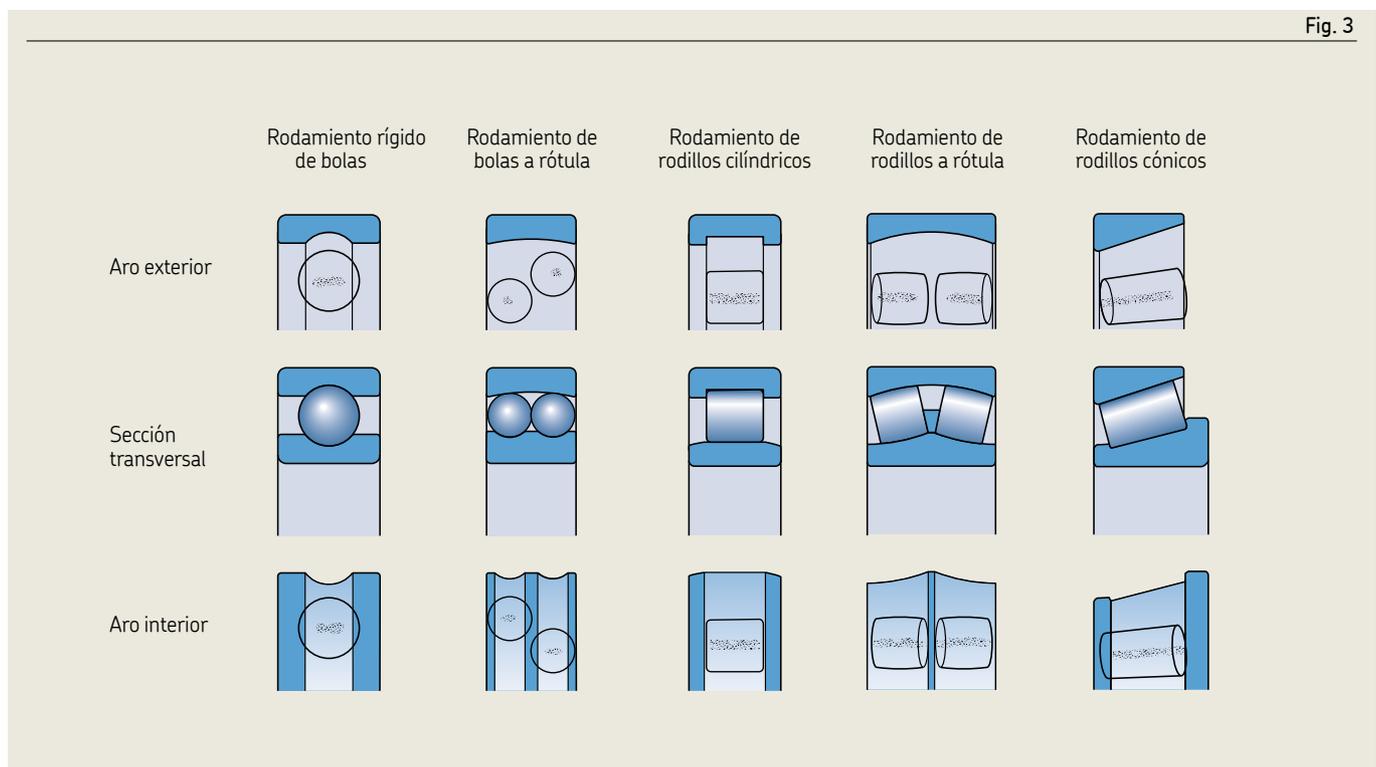


Independientemente de que el daño del rodamiento sea leve o severo, una inspección minuciosa puede brindar información valiosa acerca de la causa raíz del problema. Durante una inspección, la clave es buscar "patrones", especialmente patrones de pista en los caminos de rodadura. Un patrón puede ser "normal" o indicar un problema. El patrón, con bastante frecuencia, puede identificar la causa raíz de un problema. En este capítulo se discuten varios patrones de pista típicos.

Para simplificar, en este capítulo se muestran ejemplos de rodamientos rígidos de bolas y de rodamientos axiales de bolas.

Para otros tipos de rodamientos, los patrones de pista pueden variar debido al área de contacto, que depende del tipo de rodamiento, configuración, carga y juego.

Algunos ejemplos de áreas de contacto de caminos de rodadura se muestran en la **fig.3**.



Patrones normales de pista de caminos de rodadura

Rodamientos radiales; carga radial unidireccional y constante

La **fig. 4** muestra la distribución de la carga en un rodamiento radial (rotación del aro interior).

La flecha grande en la posición de las 12 en punto representa la carga aplicada sobre el eje. Las flechas pequeñas desde las 4 hasta las 8 en punto representan la zona de carga en el aro exterior y muestran cómo los elementos rodantes del rodamiento comparten o soportan la carga aplicada.

Rotación del aro interior

La **fig. 5** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial unidireccional y constante que actúa sobre el aro interior giratorio de un rodamiento, al aro exterior estacionario.

A medida que el aro interior gira, cada punto de ese aro entra en la zona de carga. Como resultado, toda la circunferencia del camino de rodadura del aro interior tiene un patrón de pista en su centro cuyo ancho es uniforme. Esto se denomina zona de carga de un aro interior giratorio.

El aro exterior estacionario tiene un patrón de pista centrado limitado a la zona de carga. Esto se denomina zona de carga de un aro exterior estacionario. La distribución de la carga varía en la zona de carga del aro exterior. El patrón de pista es más ancho en

la dirección de la carga, y disminuye en cualquier dirección desde ese punto. En la mayoría de las aplicaciones, los rodamientos funcionan con juego radial y la zona de carga es aproximadamente 150° (→ **fig. 4**).

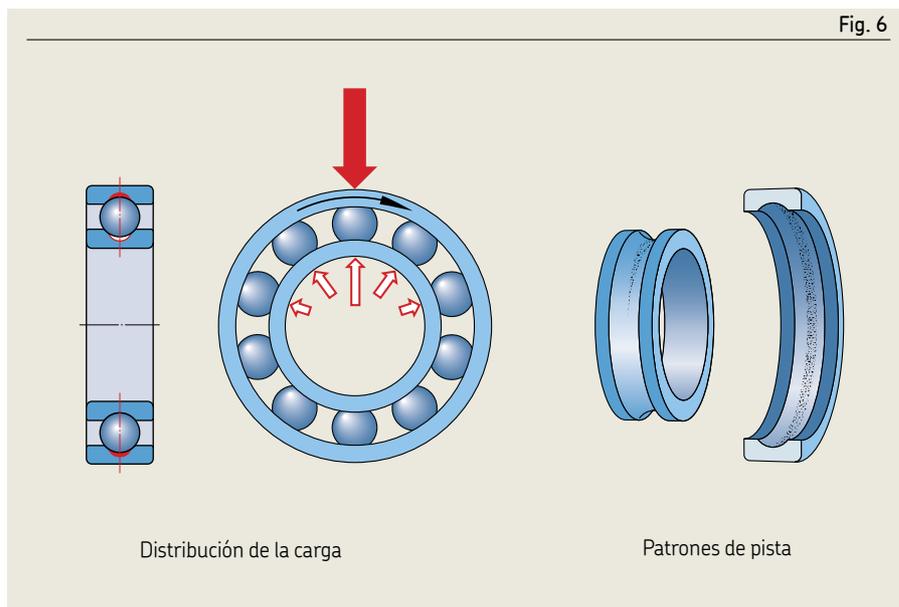
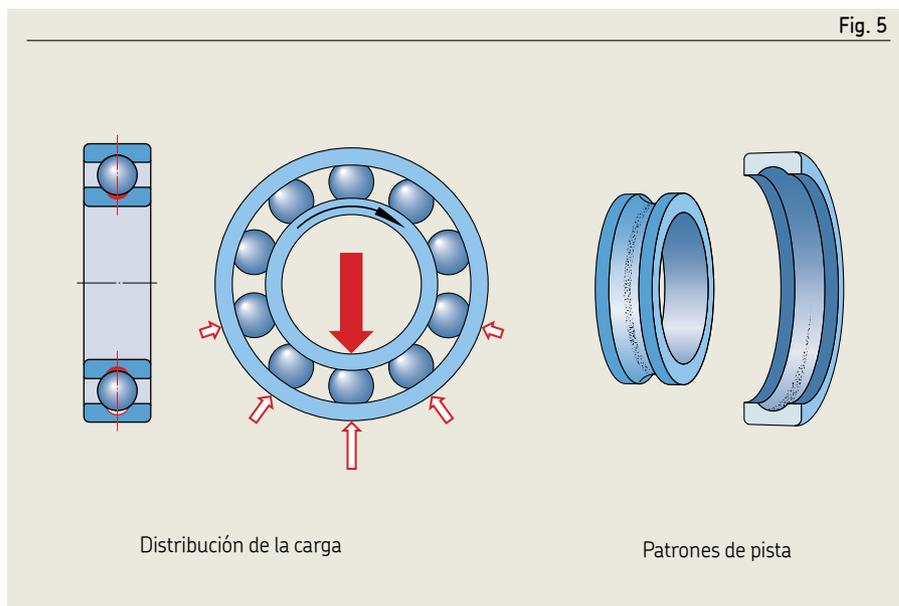
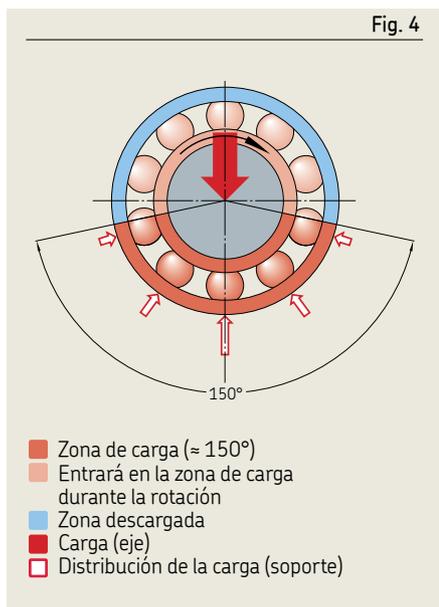
Rotación del aro exterior

La **fig. 6** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial unidireccional y constante que actúa sobre el aro exterior giratorio de un rodamiento, al aro interior estacionario.

A medida que el aro exterior gira, cada punto de ese aro entra en la zona de carga.

Como resultado, toda la circunferencia del camino de rodadura del aro exterior tiene un patrón en su centro cuyo ancho es uniforme.

El aro interior estacionario tiene un patrón centrado limitado a la zona de carga. La distribución de la carga varía en la zona de carga del aro exterior. El patrón es más ancho en la dirección de la carga, y disminuye en cualquier dirección desde ese punto. En la mayoría de las aplicaciones, los rodamientos funcionan con juego radial y la zona de carga es aproximadamente 150°.



Rodamientos radiales; carga radial que gira en fase y constante

Rotación del aro interior

La **fig. 7** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial constante que gira en fase con el aro interior de un rodamiento (p. ej., carga desbalanceada o excéntrica), al aro exterior estacionario.

El aro exterior es estacionario, pero cada punto de ese aro, a su vez, entra en la zona de carga. Como resultado, toda la circunferencia del camino de rodadura del aro exterior tiene un patrón de pista en su centro cuyo ancho es uniforme.

Aunque el aro interior gira, la carga sobre ese aro es estacionaria. La distribución de la carga sobre el aro interior varía. El patrón centrado es más ancho en la dirección de la carga, y disminuye en cualquier dirección desde ese punto. En la mayoría de las aplicaciones, los rodamientos funcionan con juego radial y la zona de carga es aproximadamente 150°.

El patrón de pista es idéntico al de la **fig. 6**.

Rotación del aro exterior

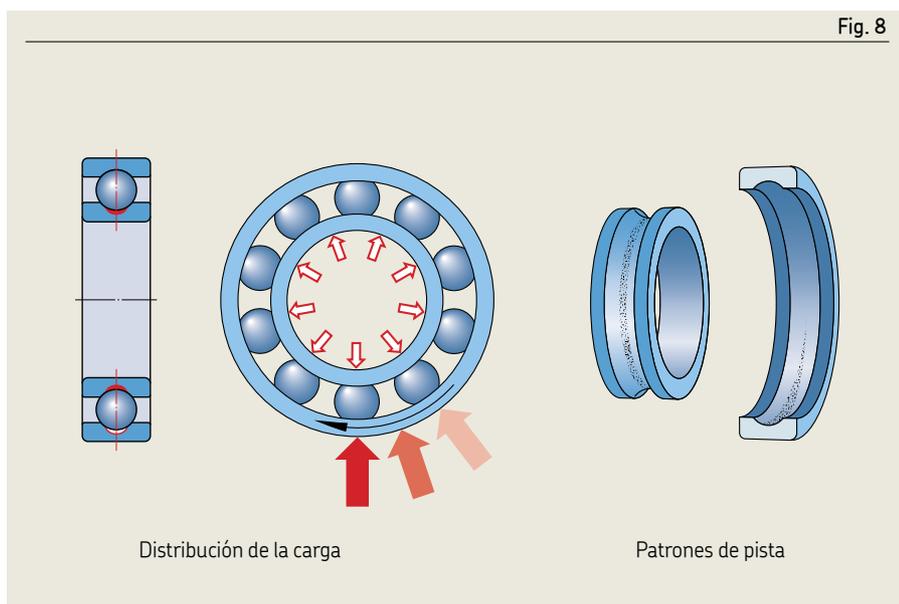
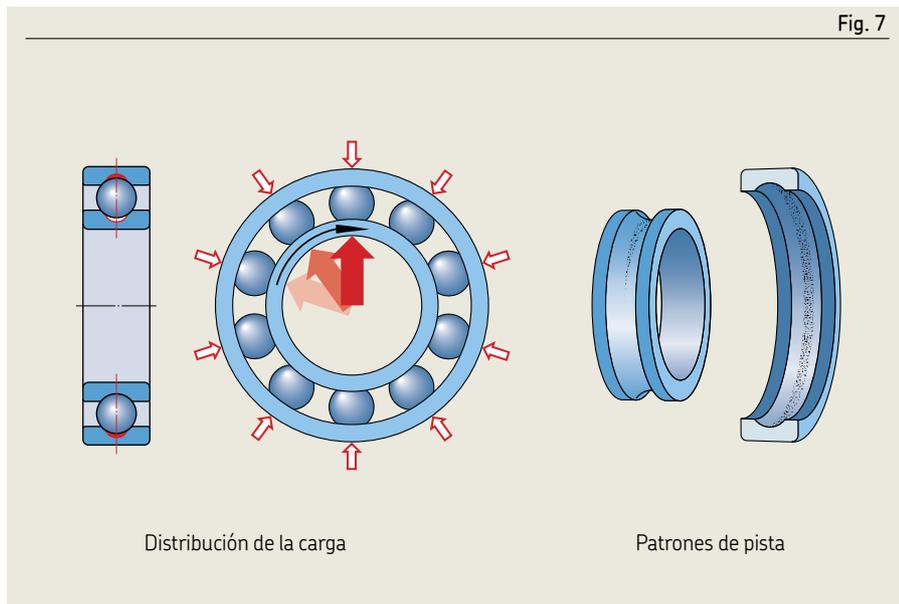
La **fig. 8** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial constante que gira en fase con el aro exterior de un rodamiento (p. ej., carga desbalanceada o excéntrica), al aro interior estacionario.

El aro interior es estacionario. Cada punto de ese aro está sometido a la zona de carga. Como resultado, toda la circunferencia del camino de rodadura del aro interior tiene un patrón en su centro cuyo ancho es uniforme.

Aunque el aro exterior gira, la carga sobre ese aro es estacionaria. La distribución de la carga sobre el aro exterior varía. El patrón de pista centrado es más ancho en la dirección de la carga, y disminuye en cualquier dirección desde ese punto. En la mayoría de las aplicaciones, los rodamientos funcionan con juego radial y la zona de carga es aproximadamente 150°.

El patrón de pista es idéntico al de la **fig. 5**.

3



Rodamientos radiales; carga axial unidireccional y constante

Rotación del aro interior o exterior

La **fig. 9** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga axial unidireccional y constante aplicada al rodamiento, al aro exterior estacionario.

El aro giratorio tiene un patrón de pista desplazado lateralmente alrededor de toda su circunferencia.

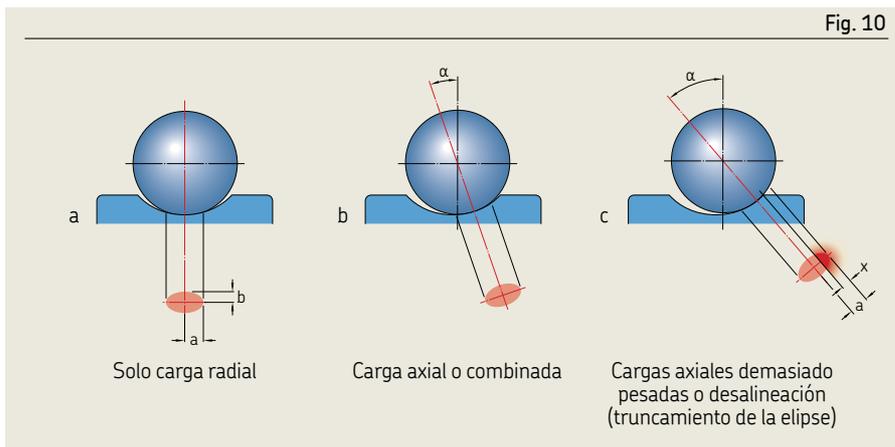
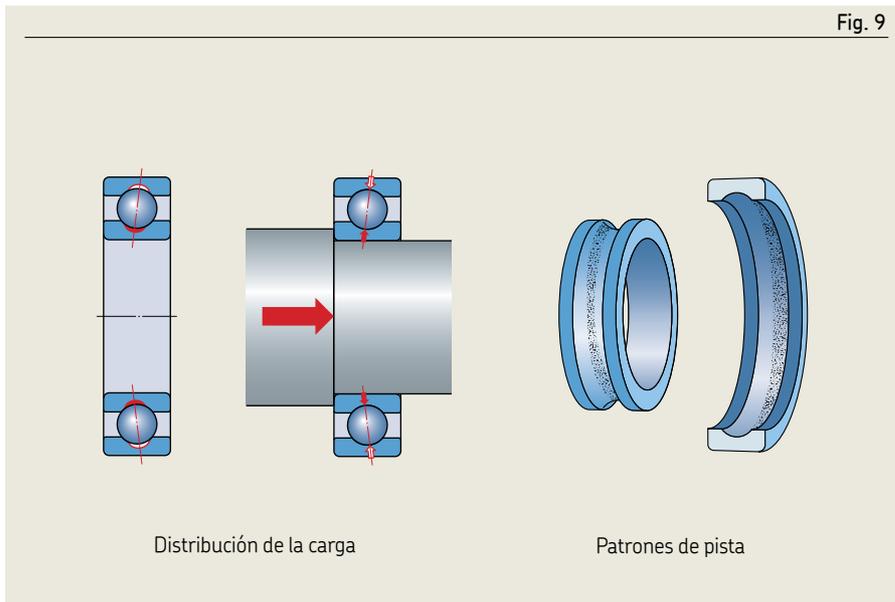
El aro estacionario tiene un patrón de pista desplazado lateralmente en el lado opuesto.

En ausencia de cualquier carga radial, el patrón de pista del aro estacionario estará alrededor de su circunferencia total.

El área de contacto entre la bola y el camino de rodadura de un rodamiento rígido de bolas es una elipse (\rightarrow **fig. 10**). Bajo carga radial pura, la elipse de contacto está centrada en el medio del camino de rodadura (\rightarrow **fig. 10a**). Cuando el rodamiento está sometido a una carga axial, funciona con un ángulo de contacto (α) y el área de contacto se mueve a lo largo del perfil de la pista hacia el borde del aro (\rightarrow **fig. 10b**).

Bajo cargas axiales demasiado pesadas o desalineación, las condiciones de carga del rodamiento pueden ser tales que parte de la elipse de contacto ya no esté apoyada por el camino de rodadura (\rightarrow **fig. 10c**). Este fenómeno se denomina truncamiento de la elipse y conduce a concentraciones de tensiones en el área de contacto.

Esto puede ser perjudicial para la vida de fatiga del rodamiento y los niveles de ruido.



Rodamientos radiales; combinación de cargas radiales y axiales unidireccionales y constantes

Rotación del aro interior

La **fig. 11** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una combinación de cargas radiales y axiales unidireccionales y constantes aplicadas a un rodamiento, al aro exterior estacionario.

El aro interior tiene un patrón de pista desplazado lateralmente alrededor de toda su circunferencia.

El aro exterior es estacionario y tiene un patrón de pista desplazado lateralmente en el lado opuesto. La distribución de la carga en el aro exterior varía. El patrón de pista es más ancho en la dirección de la carga radial, y disminuye en cualquier dirección desde ese punto. La longitud de la zona de carga es mayor que la que se hubiera producido solo por una carga radial, pero no necesariamente es 360°.

El patrón de pista del aro exterior varía según la magnitud de la carga radial en relación con la carga axial, como sigue:

- Bajo carga radial pura, solo una pequeña sección (aproximadamente 150°) del aro exterior tendrá un patrón de pista en su centro (→ **fig. 5, pág. 34**).
- Bajo carga axial pura, todo el aro exterior tiene un patrón de pista que está desplazado lateralmente (→ **fig. 9**).
- Bajo una carga combinada, el patrón de pista está en algún punto intermedio, según la magnitud de la carga radial en relación con la carga axial (→ **fig. 12**).

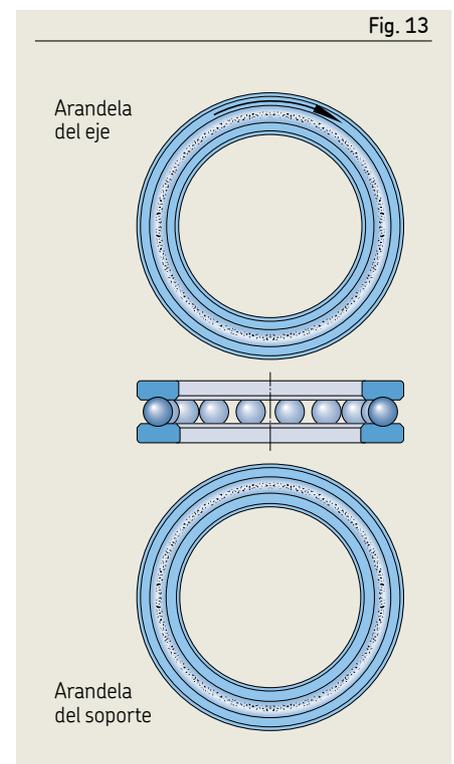
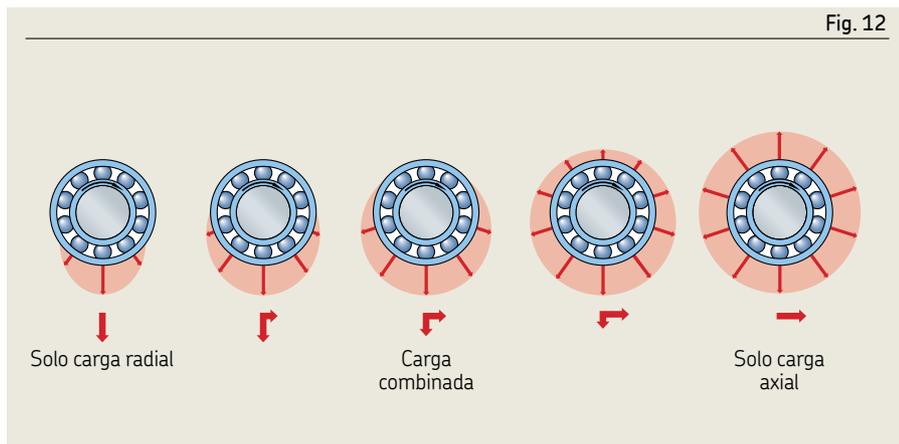
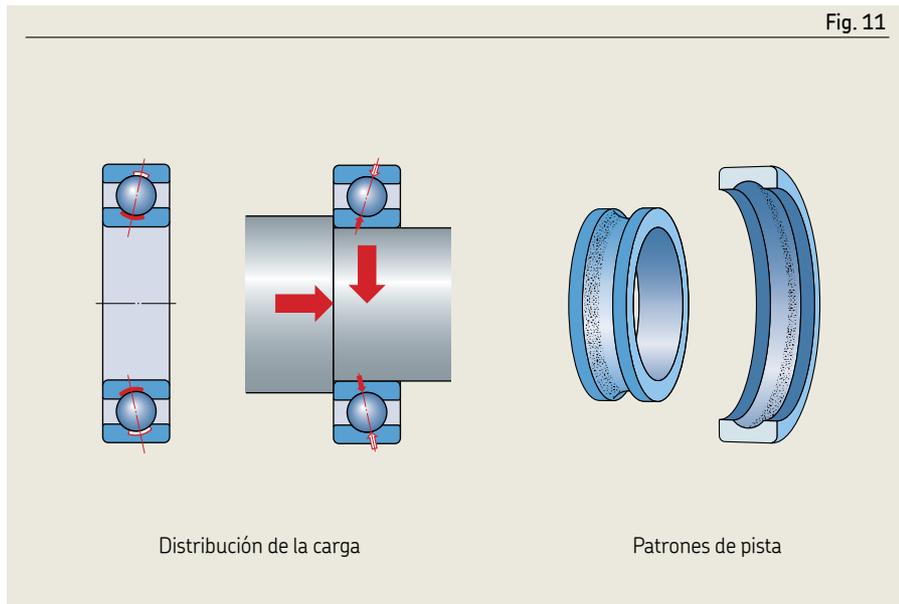
En rodamientos de dos hileras, las cargas combinadas producirán zonas de carga de longitud distinta. La hilera que transporta la carga axial tiene una zona de carga estacionaria más larga. Si la carga axial es de magnitud suficiente, una hilera de elementos rodantes se puede descargar por completo.

Rodamientos axiales; carga axial unidireccional y constante

Arandela del eje giratorio

La **fig. 13** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga axial unidireccional y constante aplicada a un rodamiento axial de bolas, a la arandela del soporte estacionario. Ambas arandelas tienen un patrón de pista, de ancho uniforme, que se extiende alrededor de toda la circunferencia de los caminos de rodadura, y concéntrico con el eje del rodamiento.

3



Patrones de pista asociados a condiciones de funcionamiento anormales

Rodamientos radiales; carga radial unidireccional y constante

Rotación del aro interior; aro exterior estacionario desalineado

La **fig. 14** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial unidireccional y constante que actúa sobre el aro interior giratorio de un rodamiento, al aro exterior estacionario y desalineado.

El aro interior tiene un patrón de pista centrado y de ancho uniforme alrededor de su camino de rodadura, pero más ancho que lo normal.

El aro exterior tiene un patrón de pista que va desde un lado del aro exterior al otro. El ancho y la longitud del patrón de pista dependen de la magnitud de la desalineación, la carga y el juego del rodamiento. El patrón de pista puede estar entre los 150° y los 360°.

Esta condición puede ocurrir cuando los rodamientos están en soportes separados cuyos agujeros no son concéntricos.

Rotación del aro exterior; aro interior estacionario desalineado

La **fig. 15** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial unidireccional y constante que actúa sobre el aro exterior giratorio de un rodamiento, al aro interior estacionario y desalineado.

El aro exterior tiene un patrón de pista centrado y de ancho uniforme alrededor de su camino de rodadura, pero más ancho que lo normal.

El aro interior tiene un patrón de pista que va desde un lado del aro interior al otro. El ancho y la longitud del patrón de pista dependen de la magnitud de la desalineación, la carga y el juego del rodamiento. El patrón de pista puede estar entre los 150° y los 360°.

Esta condición puede ocurrir cuando el eje se deflecta o si los asientos del eje del rodamiento no son concéntricos.

Fig. 14

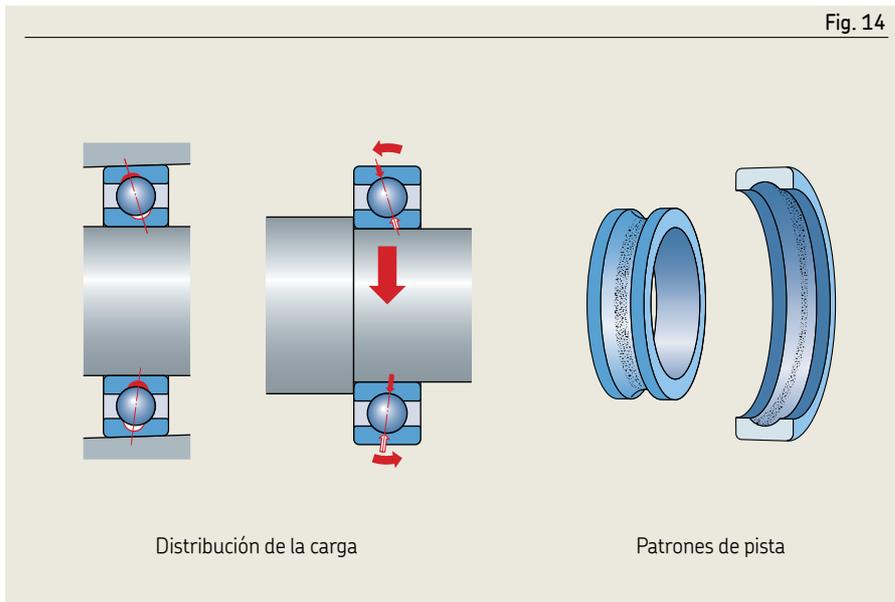
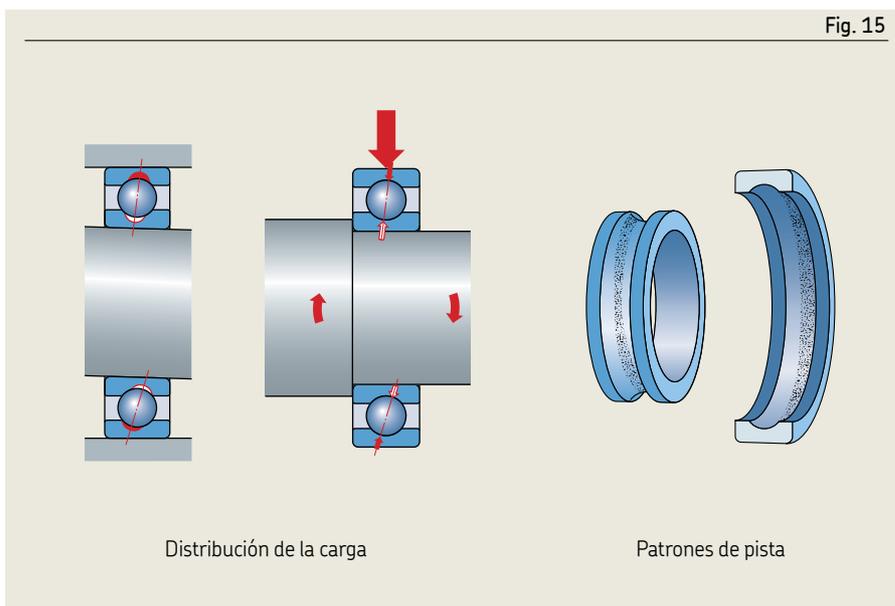


Fig. 15



Rotación del aro interior-ovalización del aro exterior estacionario

La **fig. 16** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial unidireccional y constante que actúa sobre el aro interior giratorio de un rodamiento, al aro exterior estacionario y con ovalización.

El aro interior tiene un patrón de pista centrado y de ancho uniforme alrededor de su camino de rodadura, pero más ancho que lo normal.

El aro exterior tiene dos patrones de pista diametralmente opuestos (zonas de carga). Una ovalización radial sucede por alguno de los siguientes motivos

- El soporte está montado sobre una superficie no plana.
- Las dos partes de un soporte partido no encajan concéntricamente.
- El asiento del soporte está fuera de circularidad debido a errores de fabricación, en cuyo caso son posibles dos o más zonas de carga.

Las zonas de cargas múltiples incrementan las cargas internas y la temperatura de funcionamiento del rodamiento, y ocasionan su daño o falla prematura.

Rotación del aro interior-precarga

La **fig. 17** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga radial unidireccional y constante que actúa sobre el aro interior giratorio de un rodamiento, al aro exterior estacionario.

El aro interior tiene un patrón de pista centrado y de ancho uniforme alrededor de su camino de rodadura.

El aro exterior tiene un patrón de pista centrado y de ancho uniforme alrededor de su camino de rodadura, pero más ancho que lo normal debido a la carga combinada aplicada con la precarga interna.

Esta condición puede ser el resultado de un ajuste de interferencia excesivo sobre el eje y/o el soporte. Si el ajuste es demasiado apretado, el rodamiento puede precargarse internamente por compresión de los elementos rodantes entre los dos aros. Poco juego interno inicial puede ocasionar el mismo problema.

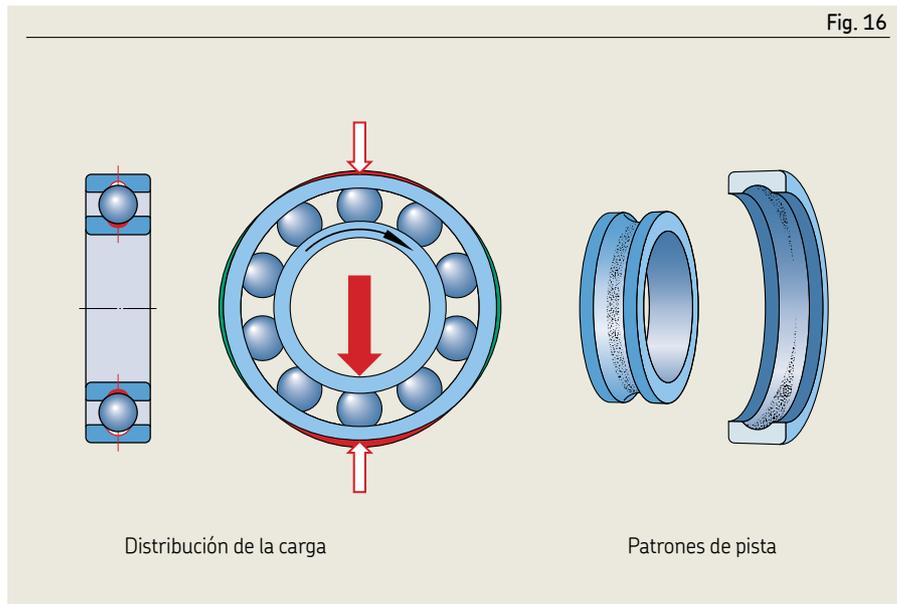


Fig. 16

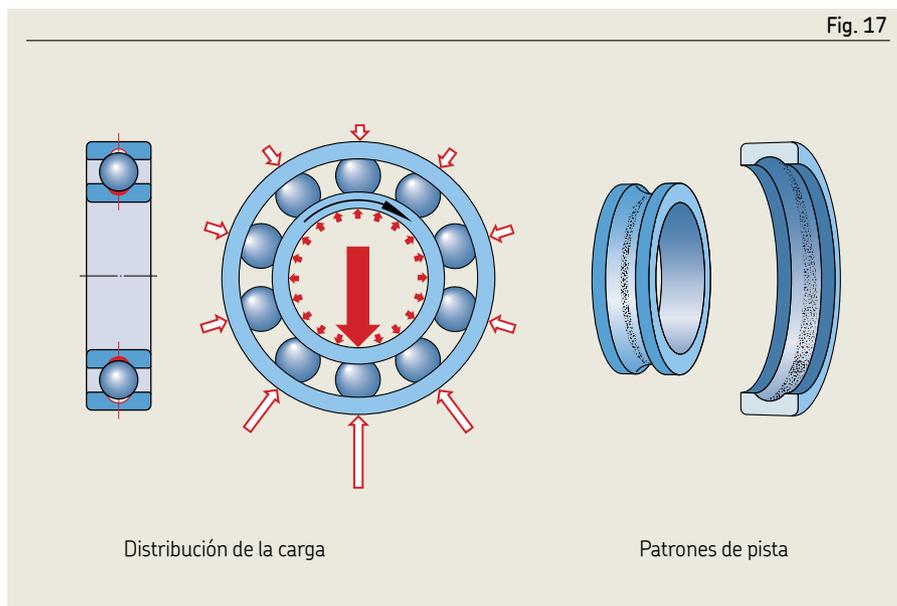


Fig. 17

Otra causa posible de esta condición es una diferencia de temperatura excesiva entre el eje y el soporte. Esto también puede reducir significativamente el juego interno del rodamiento. Los materiales de ejes y sellos con distinto coeficiente de expansión térmica también pueden contribuir a la reducción del juego.

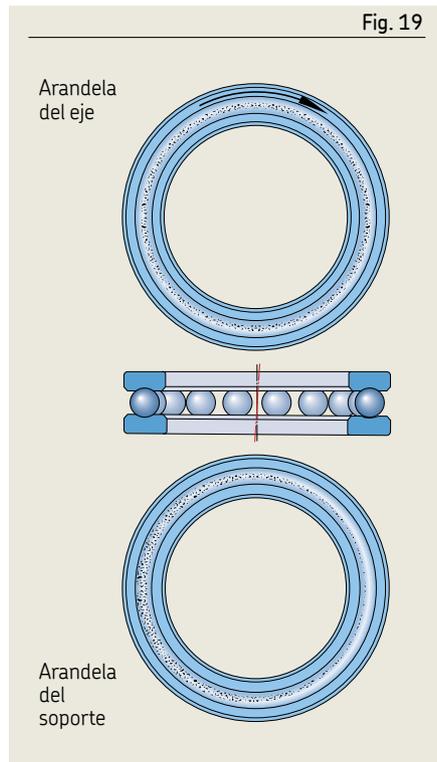
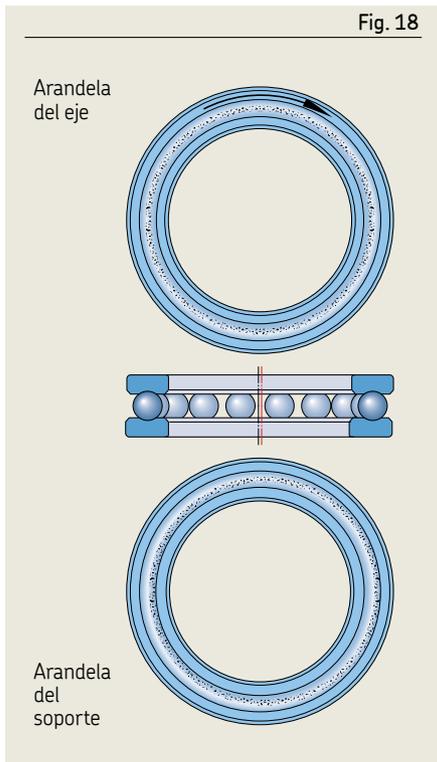
Rodamientos axiales; carga axial unidireccional y constante

Arandela del eje giratoria en posición excéntrica - arandela del soporte estacionaria

La **fig. 18** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga axial unidireccional y constante sobre la arandela del eje de un rodamiento axial de bolas, a la arandela estacionaria del soporte en posición excéntrica.

La arandela del eje tiene un patrón de pista centrado y de ancho uniforme alrededor de su camino de rodadura, pero más ancho que lo normal.

La arandela del soporte tiene un patrón de pista alrededor de su camino de rodadura que es de ancho uniforme, pero está fuera de centro en relación con el eje del rodamiento



Arandela del eje giratoria - arandela del soporte estacionaria con desalineación

La **fig. 19** ilustra cómo los elementos rodantes distribuyen una carga axial unidireccional y constante sobre la arandela del eje de un rodamiento axial de bolas, a la arandela estacionaria del soporte desalineado.

La arandela del eje tiene un patrón de pista centrado y de ancho uniforme alrededor de su camino de rodadura.

La arandela del soporte tiene un patrón de pista centrado alrededor de su camino de rodadura, pero cuyo ancho varía.

4 Clasificación ISO de modos de falla

Hay muchos fabricantes de rodamientos y muchas publicaciones sobre daño y fallas de rodamientos. Las distintas publicaciones pueden clasificar el daño y las fallas de rodamientos de distintas maneras y utilizar diferente terminología.

Clasificación de modos de falla; grupo de trabajo ISO

En 1995, se formó dentro de la organización ISO un grupo de trabajo para definir un método de clasificación y terminología común para los tipos de daño de rodamientos. El grupo de trabajo estableció lo siguiente:

- Una causa de falla muestra una cierta característica.
- Se puede asociar determinado mecanismo de falla con determinado modo de falla.
- Del daño observado, se puede tratar de definir la causa raíz de la falla

A principios de 2004 se publicó la norma ISO 15243. Desde ese momento, se ampliaron los conocimientos y la experiencia sobre daño de rodamientos. Un grupo de trabajo ISO está revisando la información, y en 2015 estará disponible otra norma.

En esta publicación, la clasificación de SKF difiere ligeramente de la norma ISO 15243:2004, en que dos submodos (deformación por sobrecarga e indentaciones por manipulación) se fusionan en una (deformación por sobrecarga). La clasificación SKF se basa en tres puntos principales:

- Cubre todos los daños y cambios de aspecto que ocurren en el rodamiento durante la vida útil¹.
- Está limitada a las formas características² del cambio de aspecto que se puede atribuir a causas específicas (con un alto grado de certeza).
- Se basa en la evaluación de características visibles³ obtenidas mediante análisis no destructivo.

Los modos de falla se dividen en 6 modos principales, y en submodos a partir de allí (→ **diagrama 1**). Hay 14 modos de falla en total. En este capítulo se cubren las características de cada modo, junto con algunos ejemplos típicos.

La numeración del **diagrama 1** está alineada con la numeración de subcláusulas de la norma ISO 15243.

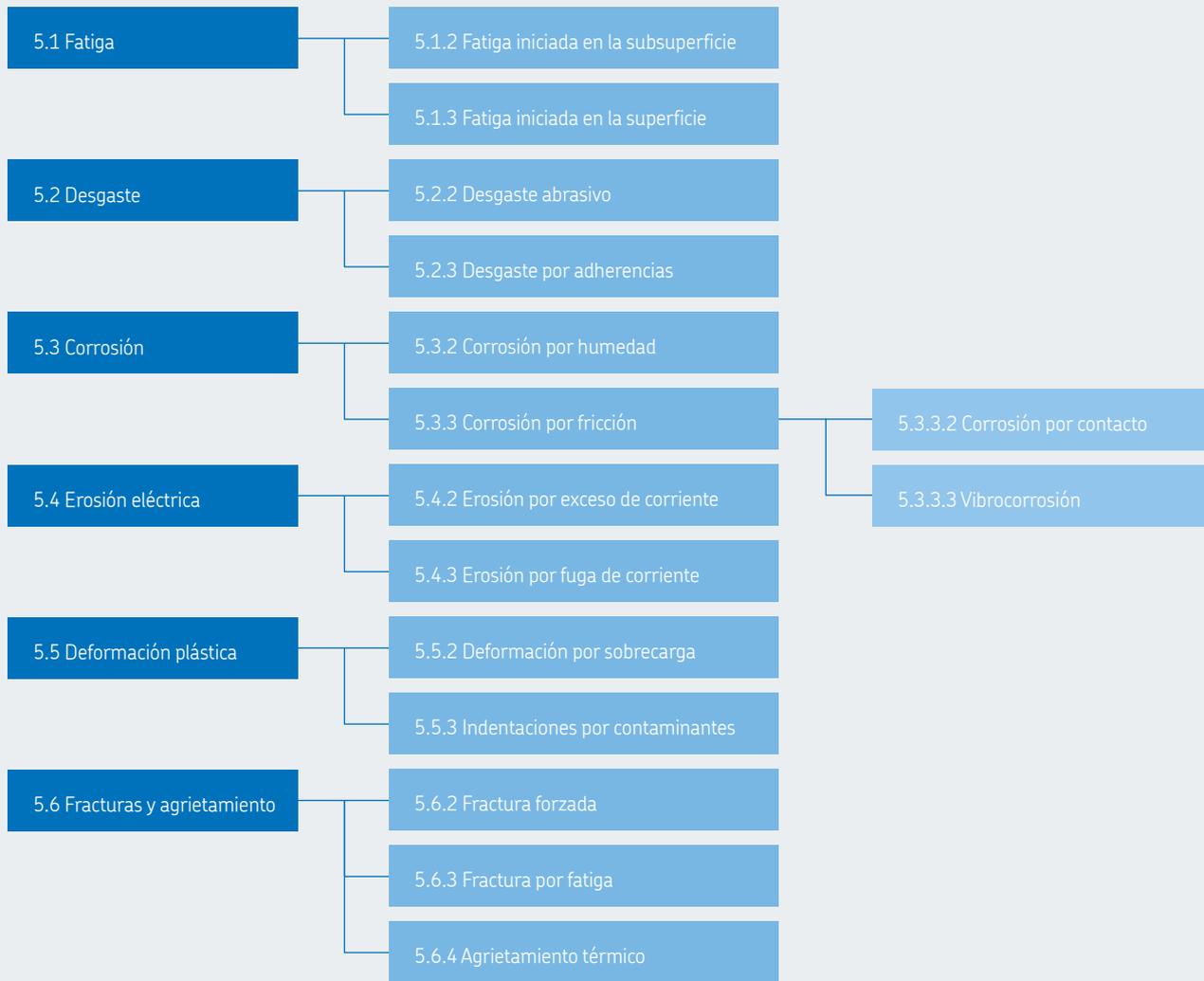
Hay otras causas para los daños de rodamientos, tales como defectos de fabricación, problemas de diseño, etc. No están clasificadas en la norma ISO y no se las aborda en esta publicación.

1 "Durante la vida útil": después de que el rodamiento sale de fábrica.

2 "Formas características": que se pueden clasificar dentro de los 14 modos de falla.

3 "Características visibles": que se pueden ver mediante magnificación con microscopios ópticos ligeros. En esta publicación no se aborda el análisis destructivo.

Clasificación SKF adaptada de ISO 15243:2004

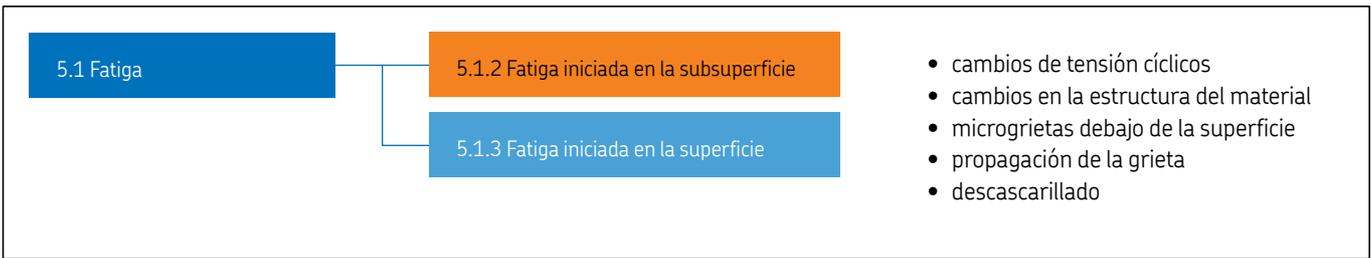


La numeración sigue los números de subcláusulas de la norma ISO 15243:2004

Modos de falla

Fatiga

Fatiga iniciada en la subsuperficie

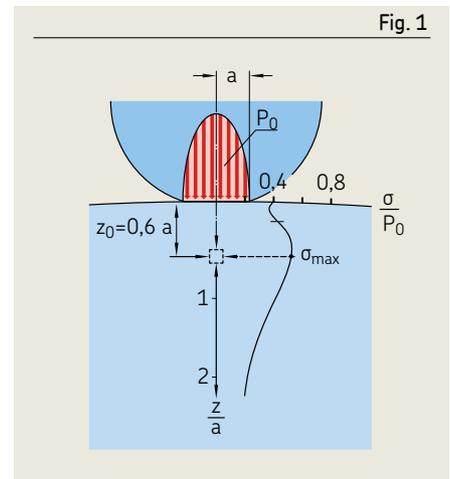


En un rodamiento giratorio, ocurren cambios cíclicos de tensión debajo de las superficies de contacto de los caminos de rodadura y elementos rodantes.

Considere el aro interior giratorio de un rodamiento radial con una carga radial que actúa sobre él. A medida que el aro gira, un punto específico del camino de rodadura entra en la zona de carga y continúa a través de un área hasta alcanzar una carga máxima (tensión) antes de salir de la zona de carga. Durante cada revolución, a medida que ese punto del camino de rodadura entra y sale de la zona de carga, se producen tensiones de compresión y de cizallamiento (→ fig. 1).

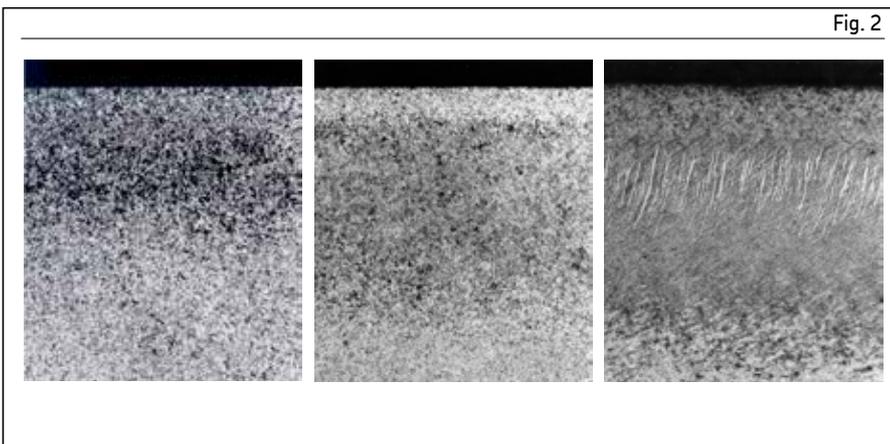
Según la carga, la temperatura y la cantidad de ciclos de tensión en un período de tiempo, hay una acumulación de tensiones residuales que hacen que el material cambie de una estructura granular orientada al azar a planos de fractura.

En estos planos se desarrollan las llamadas microgrietas debajo de la superficie, en la ubicación más débil, alrededor de la zona de máxima tensión de cizallamiento, por lo general a una profundidad de 0,1 a 0,5 mm (→ figs. 2 y 3). La profundidad depende de la carga, del material, de la limpieza, la temperatura y la microestructura del acero. Finalmente, la grieta se propaga a la superficie y se produce el descascarillado (→ fig. 4).

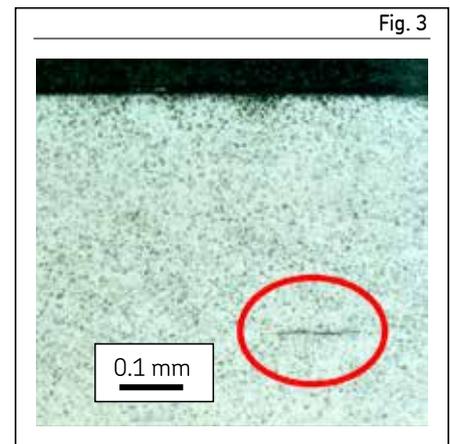


Tensiones de compresión y de cizallamiento debajo del camino de rodadura

Cambios en la estructura por debajo de la superficie del camino de rodadura en el tiempo (rodamiento rígido de bolas pequeño, bien lubricado y con alta tensión)



Desarrollo de grietas debajo de la superficie del camino de rodadura (~ 0,3 mm)



El rodamiento se daña tan pronto como ocurre el descascarillado. Esto no significa que el rodamiento no pueda seguir en servicio. El descascarillado aumenta gradualmente y origina los niveles de ruido y vibración en el equipo. El equipo se debe detener y reparar antes de que el rodamiento colapse.

El tiempo desde el descascarillado inicial a la falla depende del tipo de equipo y de sus condiciones de funcionamiento.

La **fig. 5** muestra descascarillado causado por fatiga (gran magnificación). El rodamiento funcionó durante mucho tiempo antes de que la grieta apareciera en la superficie. Esto sucede por lo general en rodamientos fabricados en acero muy limpio que funcionan en condiciones de funcionamiento limpias y bien lubricadas. Observe la parte inferior plana del área descascarillada y las grietas a su alrededor. Estas son grietas que han aparecido en la superficie y, con el tiempo, se desprenderá más material.

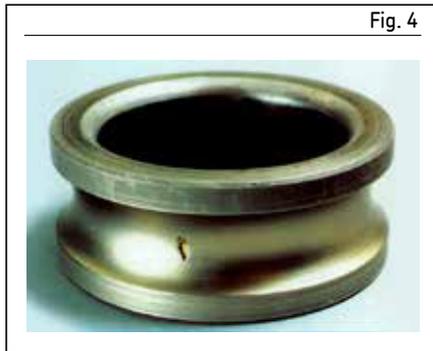


Fig. 4

Descascarillado que se inicia en la subsuperficie de un aro interior de un rodamiento rígido de bolas

Descascarillado en subsuperficie del camino de rodadura de un aro interior (gran magnificación)

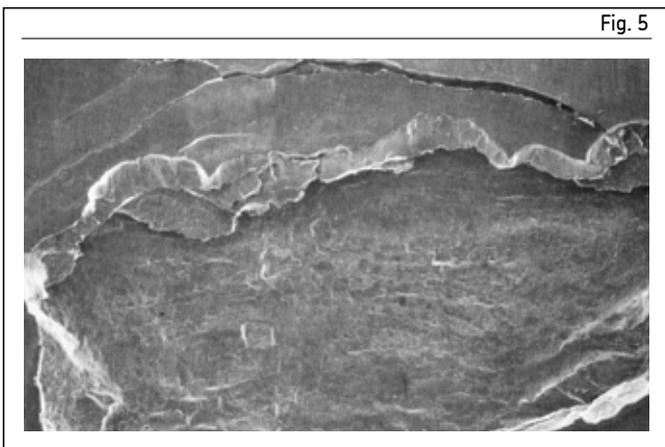
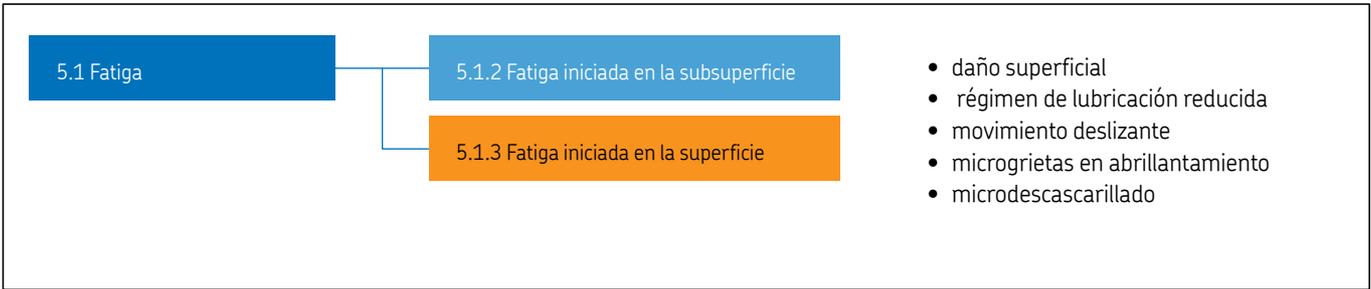


Fig. 5

Fatiga iniciada en la superficie (daño superficial)



- daño superficial
- régimen de lubricación reducida
- movimiento deslizando
- microgrietas en abrillantamiento
- microdescascarillado

La fatiga iniciada en la superficie se produce, básicamente, a partir del daño a las asperezas de la superficie de contacto rodante, que por lo general se debe a lubricación inadecuada.

Distintos factores pueden ser la causa de la lubricación inadecuada. Si la superficie está dañada, por ejemplo, por el rolado de los contaminantes sólidos, la lubricación ya no es óptima y la película de lubricante se reduce o se torna inadecuada. Esto también puede ocurrir si la cantidad o el tipo de lubricante no es adecuada para la aplicación y las superficies de contacto no están correctamente separadas. El contacto metal-metal resultante hace que las asperezas superficiales cizallen unas con otras, y junto con el microdeslizamiento entre las superficies del área de contacto rodante, crea una superficie bruñida o acristalada. A partir de allí, pueden ocurrir microgrietas en las asperezas, seguidas de microdescascarillado, que finalmente conducen a fatiga iniciada en la superficie. Existe el

riesgo de fatiga iniciada en la superficie en todos los rodamientos, si la película de aceite no separa por completo las superficies de contacto rodantes.

El riesgo se incrementa si hay deslizamiento en el área de contacto rodante. Todos los rodamientos de rodillos muestran algún microdeslizamiento en el área de contacto rodante, debido a su geometría específica y a la deformación elástica de los elementos rodantes y los caminos de rodadura bajo carga.

Otra causa de fatiga iniciada en la superficie que con frecuencia se pasa por alto es el uso de aditivos EP (extrema presión). Los aditivos EP pueden volverse agresivos, especialmente a temperaturas elevadas, y acelerar el microdescascarillado.

En general, la fatiga iniciada en la superficie es la consecuencia de las asperezas de la superficie que entran en contacto directo, en condiciones de lubricación mixta o de capa límite (→ **fig. 6a**). Cuando las fuerzas de carga

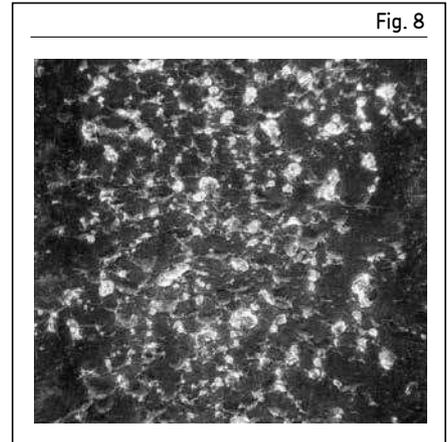


Fig. 8
Microdescascarillado y grietas en la superficie del camino de rodadura (gran magnificación)

y de fricción alcanzan una magnitud dada, se forman pequeñas grietas en la superficie (→ **fig. 6b**). Después, estas grietas pueden tornarse microdescascarillados (→ **fig. 6c**).

Mecanismo de la fatiga iniciada en la superficie

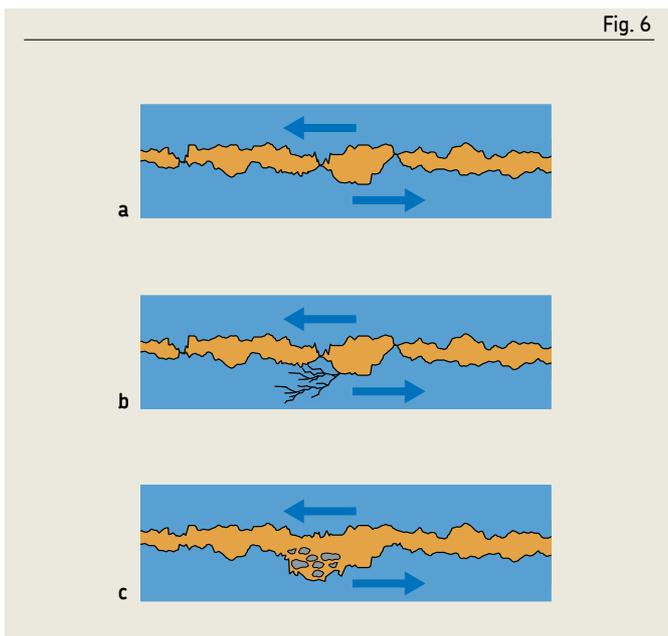


Fig. 6

Microdescascarillado en los caminos de rodadura de un rodamiento de rodillos a rótula

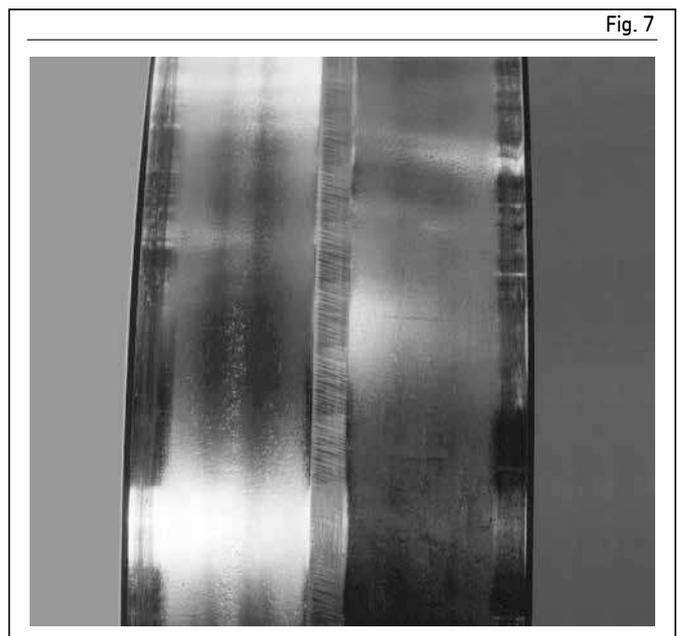


Fig. 7

Estos microdescascarillados, en general, solo miden unos micrones y la superficie luce opaca y gris (→ **fig. 7**). Solo bajo un microscopio se pueden detectar grietas y descascarillado (→ **fig. 8**).

La **fig. 9** muestra el comienzo del descascarillado luego de la fatiga iniciada en la superficie debido a lubricación inadecuada.

La **fig. 10** muestra el avance de la fatiga iniciada en la superficie hasta el descascarillado general.

Dependiendo de cuando se detenga y analice el rodamiento, puede ser difícil determinar la causa raíz.

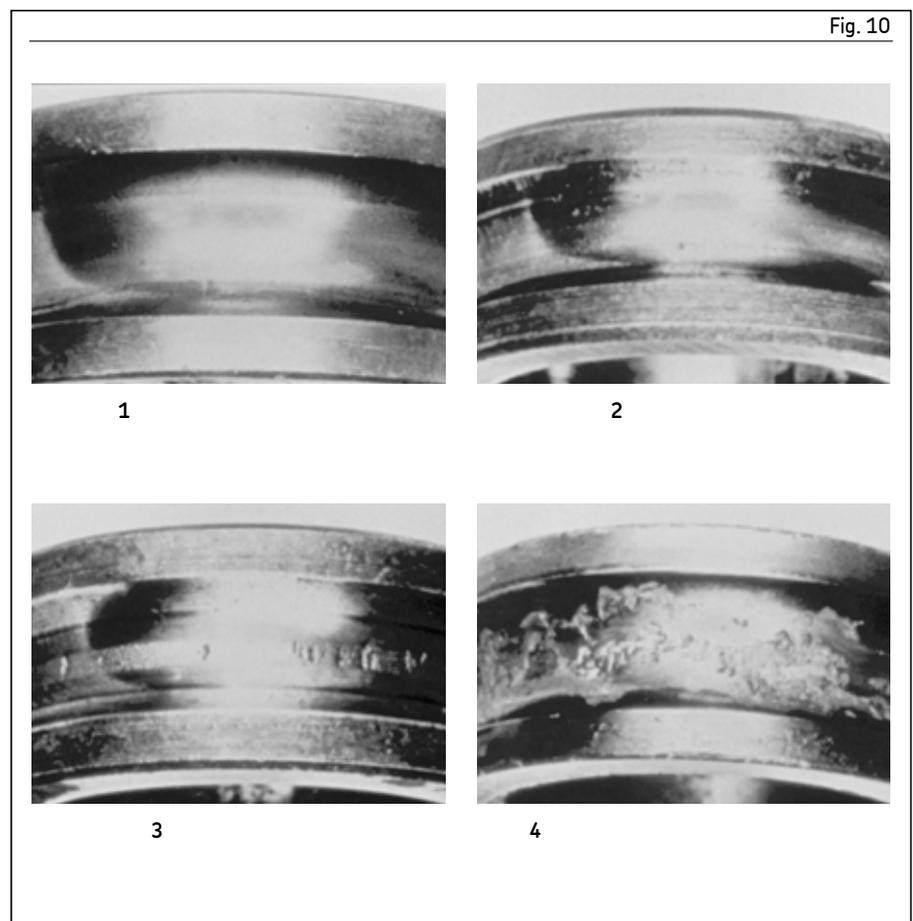
Para diagnosticar la falla de la película de lubricante, no es suficiente observar las superficies de contacto rodante y la condición del lubricante. Se deben evaluar las propiedades del lubricante, las cantidades utilizadas o necesarias y las condiciones de funcionamiento, para juzgar la adecuación del lubricante. Las siguientes etapas de daño por lubricación inadecuada pueden ocurrir durante un período de tiempo, y se pueden observar en la superficie:

- 1 Rugosidad fina u ondulación (incluso puede ser brillante).
- 2 Pequeñas grietas.
- 3 Descascarillado local.
- 4 Descascarillado sobre toda la superficie.



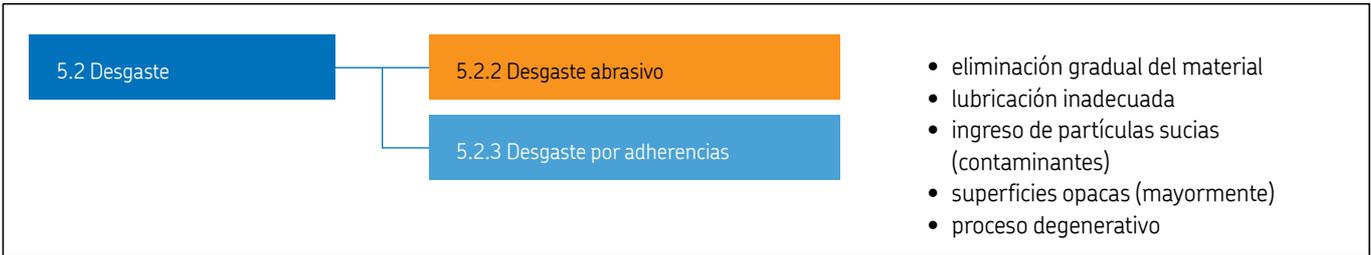
Descascarillado inicial resultante de la fatiga iniciada en la superficie del camino de rodadura del aro interior de un rodamiento rígido de bolas

Avance de la fatiga iniciada en la superficie del aro interior de un rodamiento rígido de bolas



Desgaste

Desgaste abrasivo



- eliminación gradual del material
- lubricación inadecuada
- ingreso de partículas sucias (contaminantes)
- superficies opacas (mayormente)
- proceso degenerativo

El desgaste abrasivo significa la eliminación gradual del material.

Al principio, un rodamiento experimenta un desgaste muy ligero durante la etapa de rodaje o puesta en funcionamiento, y muestra mayormente solo un patrón de pista (→ **fig. 11**).

La mayor parte del tiempo, el desgaste abrasivo real se debe a la lubricación inadecuada o al ingreso de contaminantes sólidos. El desgaste abrasivo se caracteriza, por lo general, por superficies opacas (→ **fig. 12**).

El desgaste abrasivo es un proceso degenerativo que eventualmente destruye la microgeometría del rodamiento porque las partículas de desgaste reducen aún más la eficacia del lubricante. Las partículas abrasivas pueden desgastar rápidamente los caminos de rodadura de aros y elementos rodantes, así como las cavidades de las jaulas. La **fig. 12** muestra el desgaste abrasivo en el aro exterior de un rodamiento de rodillos a

rótula. También se puede ver la profundidad del desgaste. (Hay también un patrón de ondulación por la vibración.)

La jaula es una parte crítica del rodamiento. Los aros y los elementos rodantes están endurecidos a aproximadamente 60 HRC. La mayoría de las jaulas de metal no están endurecidas (chapa de metal o bronce). Bajo condiciones de lubricación deficiente, es posible que la jaula sea el primer componente que se desgaste. La **fig. 13** muestra el desgaste de la cavidad en una jaula maciza de bronce.



Desgaste abrasivo en las barras de la jaula de un rodamiento de rodillos cilíndricos

Desgaste abrasivo ligero en el aro exterior de un rodamiento axial de rodillos a rótula



Desgaste abrasivo avanzado en el aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula



El desgaste por pulido es una forma especial de desgaste abrasivo. Las superficies del camino de rodadura de los rodamientos nuevos son brillantes, pero no altamente reflectantes (como espejos). Las superficies que semejan espejos en un rodamiento que ha estado en uso (→ **fig. 14**) resultan de la lubricación inadecuada causada por una película fina de aceite, y de partículas que actúan como agente pulidor. Esto permite el contacto metal-metal, que conduce al desgaste abrasivo y a la deformación plástica de las asperezas (→ **fig. 15**). Las superficies pueden volverse extremadamente brillantes, todo depende del tamaño de las partículas, de su dureza y del tiempo de funcionamiento.

Las superficies especulares pueden no ser daños severos, siempre que el desgaste abrasivo y la deformación plástica estén confinadas a las asperezas.

En algunos casos, el desgaste por pulido puede ir más allá de las asperezas y modificar severamente la forma de los caminos de rodadura. Los caminos de rodadura del aro interior y exterior, y muy probablemente los rodillos, pueden haberse desgastado pero aún semejan espejos.

Este nivel de desgaste abrasivo resulta de una combinación de factores: la viscosidad del aceite es demasiado baja y hay una cantidad excesiva de partículas abrasivas muy pequeñas en el aceite. Otros factores pueden incluir una combinación de bajas velocidades, altas cargas y película insuficiente de aceite.

Para evitar este tipo de daño, incremente la viscosidad del lubricante y monitoree regularmente la limpieza del lubricante.

El desgaste por pulido (superficies de caminos de rodadura que parecen espejos) en los aros interior y exterior de un rodamiento de rodillos a rótula



Fig. 14

Proceso de desgaste por pulido en un rodamiento

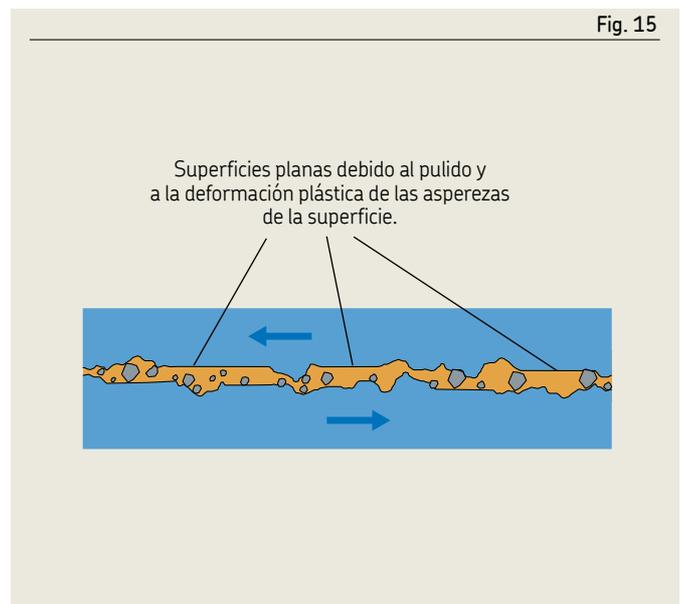
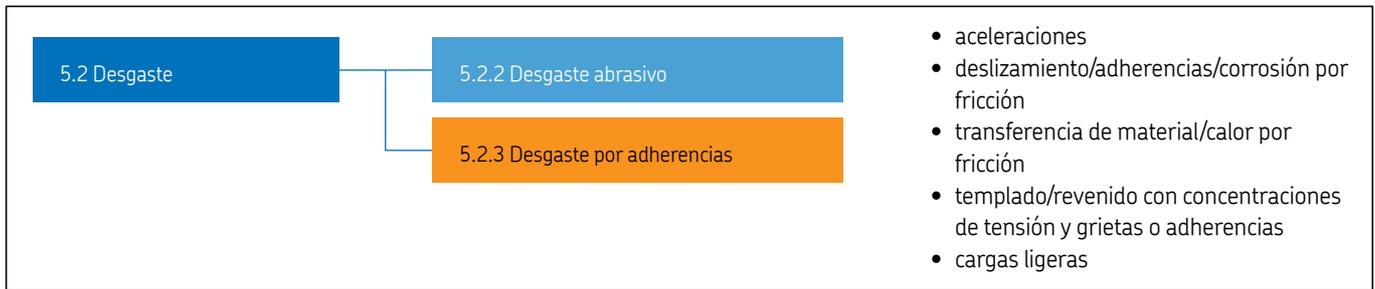


Fig. 15

Desgaste por adherencias



El desgaste por adherencias es un tipo de daño relacionado con la lubricación que ocurre entre dos superficies de contacto que se deslizan una respecto de la otra (→ **fig. 16**).

Se caracteriza por la transferencia de material de una superficie a otra (adherencia). Por lo general, está acompañado por calor por fricción, que a veces puede revenir o templar las superficies de contacto.

El calor por fricción produce concentraciones de tensiones locales, que pueden ocasionar grietas o descascarillado en las áreas de contacto.

En condiciones de funcionamiento normales, las adherencias no son comunes. La velocidad de deslizamiento relativa debe ser mucho mayor que el microdeslizamiento inducido por la geometría del rodamiento y la deformación elástica en el área de contacto rodante.

Adherencias debido a aceleraciones severas

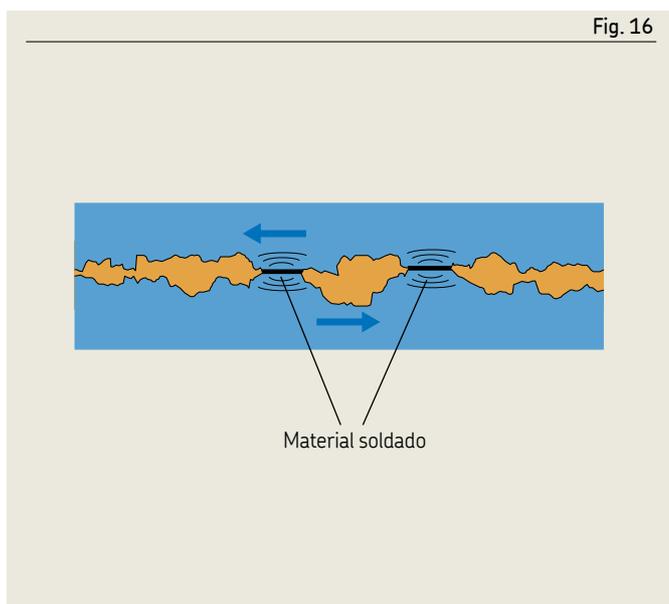
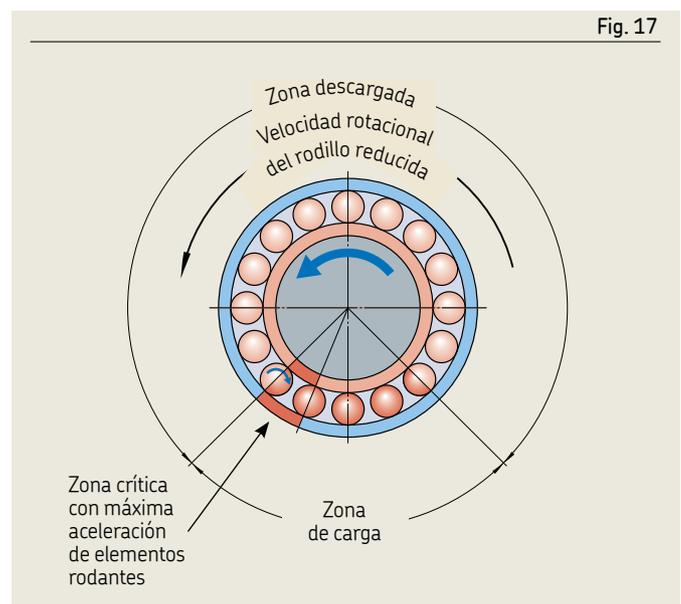
En ciertas condiciones pueden producirse adherencias en la superficie de los elementos rodantes y en los caminos de rodadura de

los rodamientos de rodillos que funcionan a velocidades relativamente altas. Fuera de la zona de carga, la rotación de los elementos rodantes se retarda, porque los aros no los guían.

Por lo tanto, los elementos rodantes están sometidos a una rápida (repentina) aceleración cuando entran en la zona de carga (→ **fig. 17**). Esta aceleración repentina puede causar deslizamiento, y este puede generar suficiente calor, de modo que las dos superficies se funden en los puntos de contacto metal-metal (→ **fig. 16**). Este proceso de soldadura hace que el material se transfiera de una superficie a la otra, lo que también conduce a mayor fricción (→ **fig. 18**).

Durante este proceso, también se produce templado y revenido del material. Esto puede conducir a concentraciones de tensiones locales y a un alto riesgo de que se formen grietas, lo que ocasionará la falla prematura del rodamiento. Las grietas pueden ocurrir a 90° de la dirección de deslizamiento.

Las adherencias son un tipo peligroso de daño superficial, porque normalmente las superficies afectadas se vuelven cada vez más ásperas. A medida que se incrementa la rugosidad superficial, disminuye el espesor de la película de aceite, y así se incrementa el contacto metal-metal y el desgaste del rodamiento entra en un círculo vicioso. Los rodamientos grandes son muy sensibles a las adherencias. El peso de los elementos rodantes es importante, y se desaceleran considerablemente fuera de la zona de carga. Al reingresar en la zona de carga, de manera casi instantánea se aceleran a la velocidad rotacional, aunque debido al peso del elemento rodante ello ocurre con deslizamiento (parcial).

Principio de desgaste por adherencias**Mayor riesgo de desgaste por adherencias cuando los elementos rodantes se aceleran a medida que entran en la zona de carga**

En los rodamientos de bolas ocurren también adherencias debido a efectos giroscópicos. En estos casos, las bolas cambian su ángulo de contacto cuando están fuera de la zona de carga, pero son forzadas a retroceder (con deslizamiento) al ángulo correcto a medida que entran en la zona de carga.

Adherencias debido a carga demasiado ligera

También se pueden producir adherencias entre los elementos rodantes y los caminos de rodadura, cuando la carga es demasiado ligera en relación con la velocidad de rotación.

Las maneras de superar las adherencias incluyen, entre otras:

- incrementar la carga
- utilizar rodamientos más pequeños
- utilizar rodamientos híbridos (elementos rodantes más ligeros)
- aplicar recubrimiento protector
- utilizar un distinto modelo de jaula
- revisar la selección de aceite/grasa

Otros ejemplos de adherencias

También pueden producirse adherencias entre la jaula y su superficie de contacto, y entre los extremos del rodillo y las pestañas guía. La **fig. 19** muestra un rodillo de un rodamiento axial de rodillos a rótula que funcionaba contra la pestaña guía. El extremo del rodillo tenía daños por adherencias causados por la lubricación inadecuada.

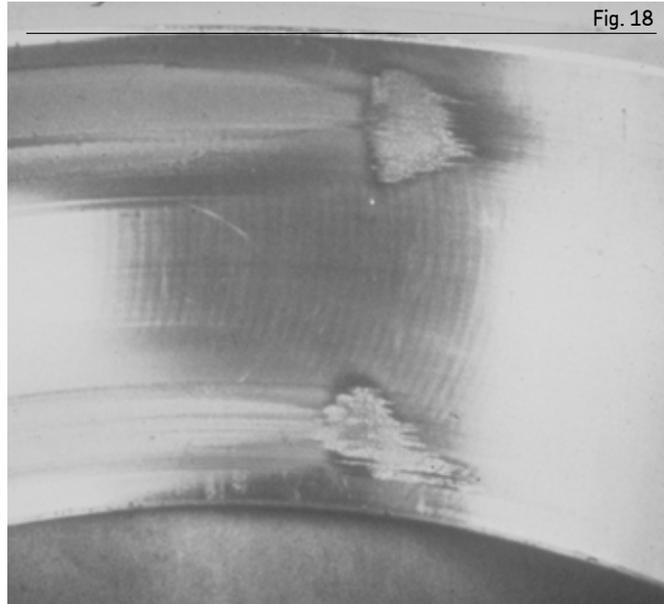


Fig. 18

Adherencias en los caminos de rodadura del aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula (marcas de adherencias a la entrada de la zona de carga)

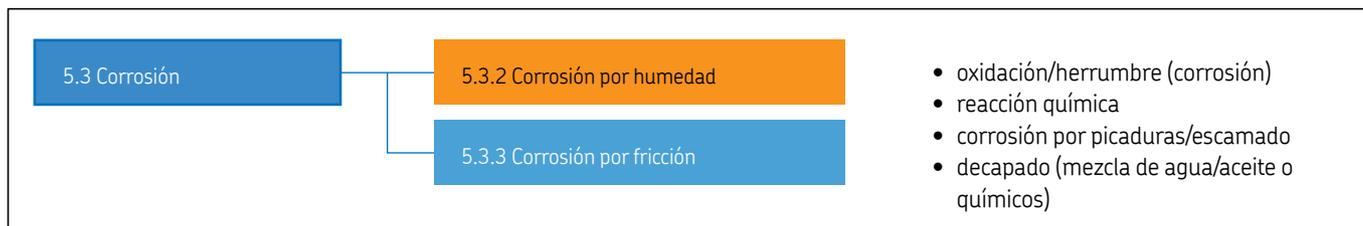


Fig. 19

Adherencias en la cara de un rodillo de un rodamiento axial de rodillos a rótula

Corrosión

Corrosión por humedad



Las disposiciones de sellado ineficaces pueden permitir el ingreso de humedad, agua y líquidos contaminantes agresivos en el rodamiento. Se formará herrumbre cuando la cantidad de contaminantes líquidos excede la capacidad del lubricante de proteger las superficies de acero de manera adecuada.

Oxidación

Se forma una delgada película protectora de óxido sobre el acero limpio cuyas superficies están expuestas al aire. Sin embargo, esta película no es impenetrable, y si el agua o los agentes corrosivos entran en contacto con las superficies de acero, puede ocurrir oxidación.

Corrosión

La corrosión es, quizás, la causa más común de la falla prematura de rodamientos en las máquinas papeleras y en el equipo de procesamiento de las industrias de alimentos y bebidas. Los rodamientos de estas máquinas están expuestos al ingreso de agua y otros líquidos como parte del proceso opera-

tivo. El agua también se puede introducir durante los lavados, mientras la máquina se limpia en las paradas, lo que provoca manchas de color gris oscuro que coinciden con el paso del elemento rodante (→ **fig. 20**).

Decapado

En las paradas, se acumula agua libre en el lubricante, en la parte inferior del rodamiento. La concentración de agua será mayor a una cierta distancia del contacto rodante (→ **fig. 21**). El motivo es que el agua libre es más pesada que el aceite y se hundirá hasta que encuentre un intersticio adecuado entre el elemento rodante y el camino de rodadura. Esto puede conducir a corrosión profunda, denominada decapado (→ **fig. 22**). Es más probable que ocurra decapado en aplicaciones en las que hay químicos agresivos y altas temperaturas, como en la sección de secado de una máquina papelerera.

Por lo general, el decapado lleva a un descascarillado prematuro y extendido, ya que el material está sometido a un cambio es-

tructural y las superficies de la zona de carga se reducen de tal manera que ocurre sobrecarga. La mejor forma de evitar la corrosión es mantener el lubricante sin agua ni líquidos agresivos, mediante el sellado adecuado de la aplicación. También ayuda utilizar un lubricante con buenas propiedades inhibidoras de corrosión.

Corrosión sobre el aro exterior y el rodillo de un rodamiento de rodillos a rótula



Fig. 20

El agua libre en el lubricante se acumula en la parte inferior del rodamiento

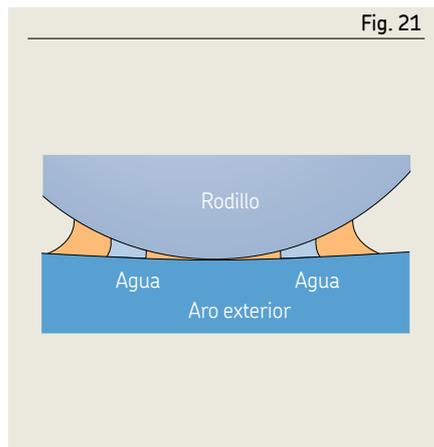


Fig. 21

Manchas iniciales de decapado en el paso del elemento rodante en los caminos de rodadura del aro interior de un rodamiento de rodillos a rótula

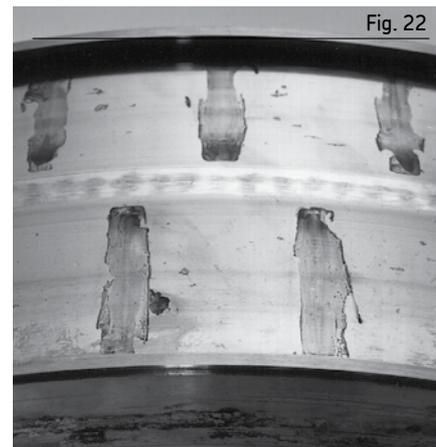


Fig. 22

Corrosión por fricción-corrosión por contacto

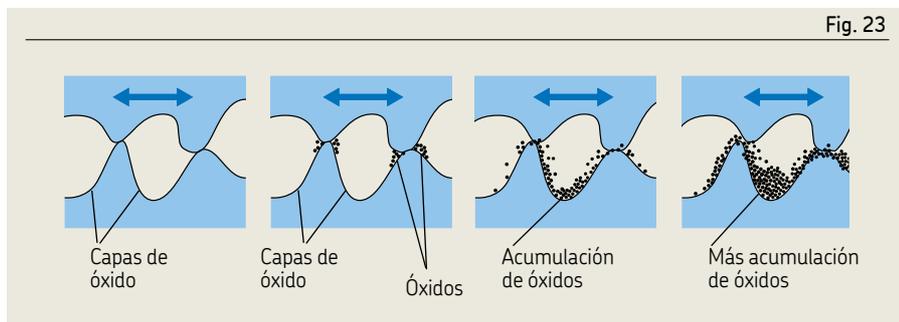
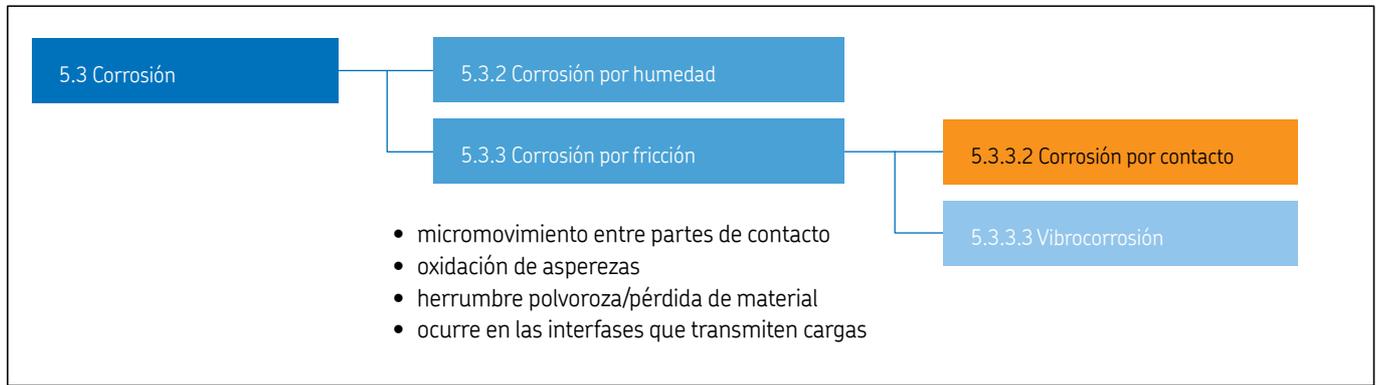


Fig. 23

Vista esquemática de las distintas etapas en el desarrollo de la corrosión por contacto

La corrosión por contacto ocurre cuando hay movimiento relativo entre un aro de rodamiento y su asiento sobre un eje o en un soporte. La corrosión por contacto por lo general la causa un ajuste demasiado flojo o imprecisiones de forma.

El movimiento relativo puede causar el desprendimiento de pequeñas partículas de material de la superficie del rodamiento y su asiento. Estas partículas se oxidan rápidamente cuando se exponen al aire, y el resultado es óxido de hierro (→ fig. 23). El volumen del óxido de hierro es mayor que el del hierro (acero). Como resultado de la corrosión por contacto, es posible que los aros del rodamiento no estén apoyados uniformemente, lo que puede tener un efecto perjudicial en la distribución de carga del rodamiento.

Las áreas corroídas actúan también concentradores de esfuerzo y terminan en fracturas.

La corrosión por contacto aparece como áreas de herrumbre en la superficie exterior del aro exterior o en el agujero del aro interior. El patrón de pista del camino de rodadura podría estar muy marcado en las posiciones correspondientes. En algunos casos, la corrosión por contacto es realmente un daño secundario a un fuerte descascarillado del camino de rodadura.

Según la reacción química, la corrosión podría aparecer como:

- rojo (hematita, Fe_2O_3)
- negro (magnetita, Fe_3O_4)

La **fig. 24** muestra la corrosión por contacto resultante de una superficie de eje que no fue mecanizada correctamente, o de la flexión del eje (debido a una carga en voladizo).

Corrosión por contacto en el agujero de un aro interior causada por un asiento de eje inadecuado o flexión del eje



Fig. 24

La **fig. 25** muestra la corrosión por contacto resultante de carga muy pesada o de un asiento inadecuado.

Para evitar este tipo de corrosión o demorar el proceso, se deben ajustar las tolerancias (ajuste) o aplicar una pasta o recubrimiento especial anticorrosivo.

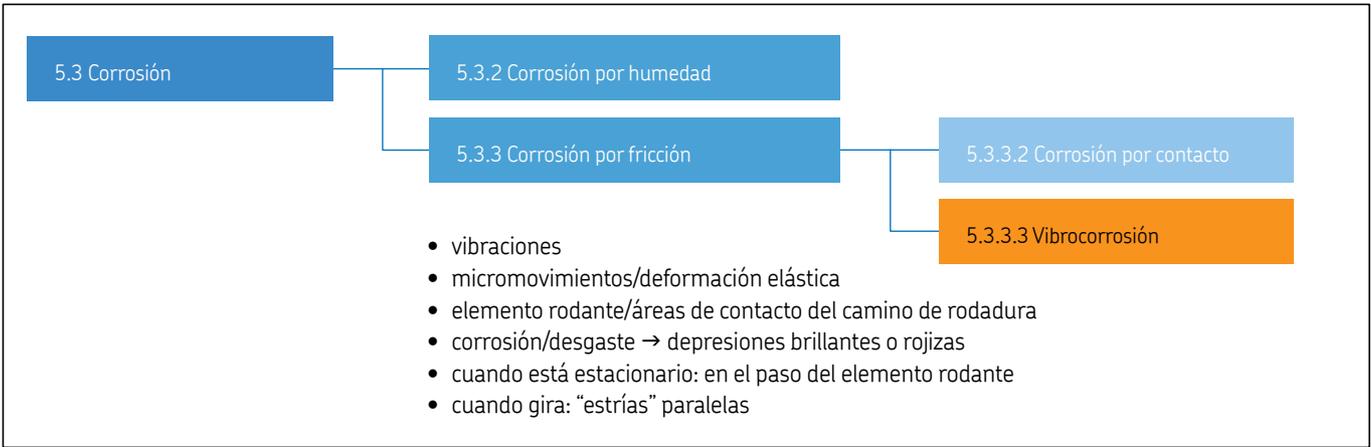
SKF no recomienda utilizar adhesivos especialmente formulados para evitar la corrosión por contacto.

Corrosión por contacto en el agujero de un aro interior causada por carga pesada o un asiento de eje inadecuado



Fig. 25

Corrosión por fricción-vibrocorrosión



La vibrocorrosión ocurre en el área de contacto debido a micromovimientos y/o resiliencia del contacto elástico bajo vibraciones cíclicas. Según la intensidad de las vibraciones, las condiciones de lubricación y carga, puede ocurrir una combinación de corrosión y desgaste, que forma depresiones poco profundas en el camino de rodadura. En el caso de un rodamiento estacionario, las depresiones aparecen en el paso de un elemento rodante:

- depresiones esféricas para los rodamientos de bolas
- depresiones longitudinales para los rodamientos de rodillos

En las aplicaciones lubricadas con grasa, la vibrocorrosión es, por lo general, rojizo-marrón, en tanto las depresiones muy brillantes que semejan espejos aparecen en las lubricadas con aceite.

En muchos casos, es posible observar herrumbre en la parte inferior de las depresiones. Esto se debe a la oxidación de las partículas desprendidas, que tienen una gran área en relación con su volumen, como resultado de su exposición al aire.

Por lo general, hay mucho menos daño en los elementos rodantes.

La **fig. 26** muestra daño severo por vibrocorrosión en el aro exterior de un rodamiento de bolas a rótula durante una parada.

La **fig. 27** muestra daño por vibrocorrosión en el aro exterior de un rodamiento de rodillos cilíndricos. La causa raíz es la vibración durante la parada. El rodamiento se montó en el equipamiento auxiliar, con largos períodos inactivos. Se pueden observar varios juegos de "estrías" en el paso del rodillo; cada juego resulta de un período de inactividad.

La magnitud del daño depende del nivel y frecuencia de la vibración, y de la duración de la parada.



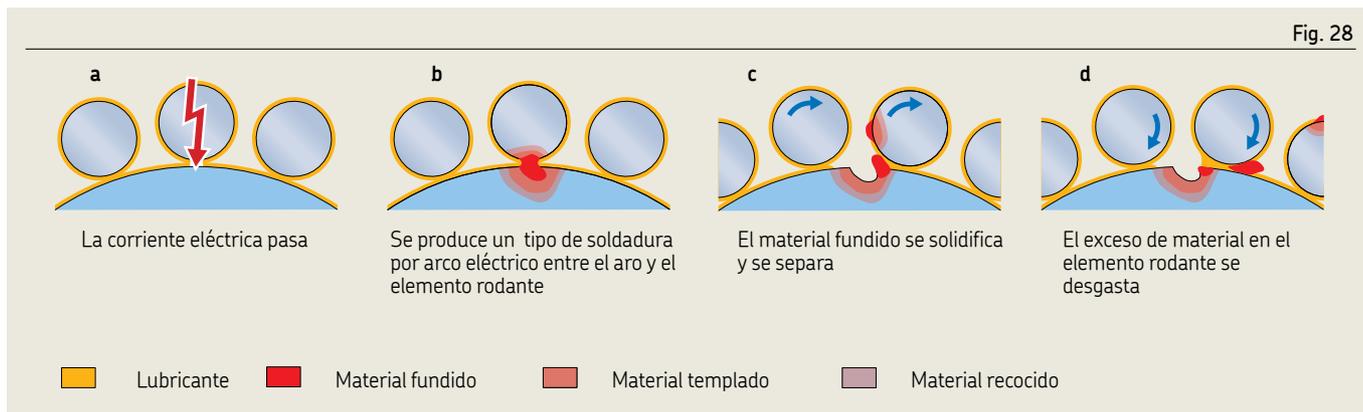
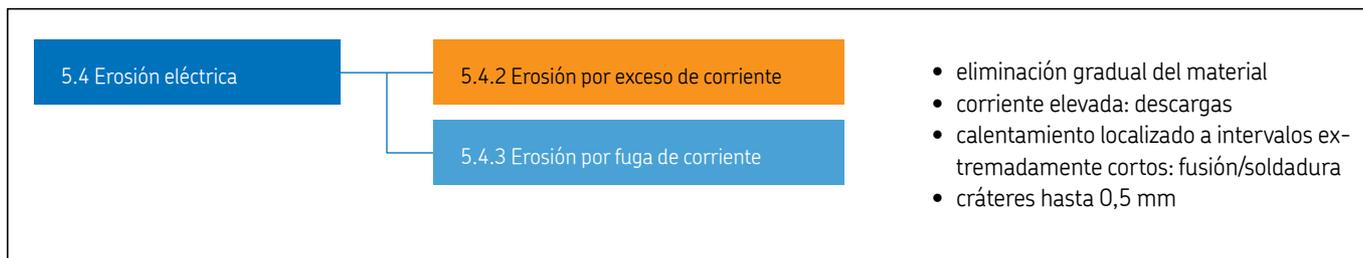
Vibrocorrosión severa en el camino de rodadura del aro exterior de un rodamiento de bolas a rótula

Vibrocorrosión ("estrías") sobre el camino de rodadura del aro exterior de un rodamiento de rodillos cilíndricos



Erosión eléctrica

Erosión por exceso de corriente



Mecanismo de la erosión por exceso de corriente

Cuando pasa una corriente eléctrica (→ **fig. 28**) de un aro a otro por los elementos rodantes, se producirá daño (**a**). En las superficies de contacto, el proceso es similar a la soldadura por arco eléctrico (alta densidad de corriente sobre una superficie de contacto pequeña, **b**). El material se calienta a temperaturas que oscilan de nivel de revenido a nivel de fusión. Esto conduce a la aparición de áreas decoloradas, cuyo tamaño varía, donde el material se ha templado, revenido o fundido. También se forman cráteres donde el material se ha fundido y, en consecuencia, des-

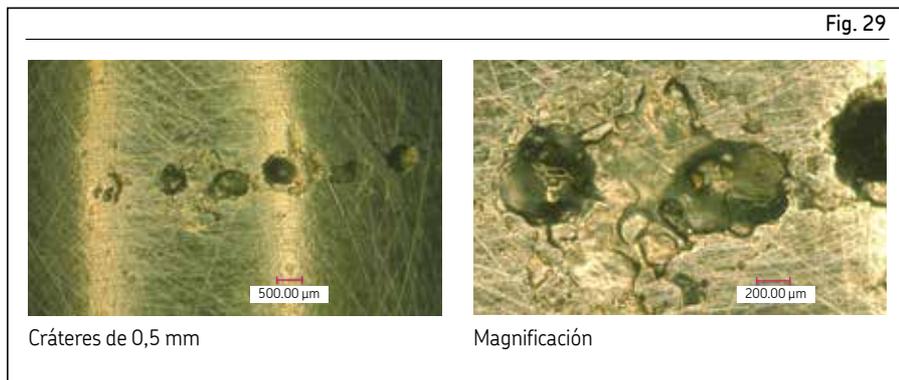
prendido debido a la rotación del elemento rodante (**c**). El exceso de material en el elemento rodante se desgasta (**d**). Aspecto: Cráteres en caminos de rodadura y elementos rodantes. A veces se pueden ver quemaduras en zigzag en los caminos de rodadura de los rodamientos de bolas. Las quemaduras locales son visibles en caminos de rodadura y elementos rodantes.

La **fig. 29** muestra un ejemplo de rodamiento de rodillos a rótula sometido a un exceso de corriente eléctrica. En el rodillo se pueden ver otros cráteres bastante grandes.

Una magnificación muestra claramente los cráteres con el material fundido alrededor de sus bordes.

La **fig. 30** muestra el daño causado por el exceso de corriente eléctrica en un rodamiento rígido de bolas, en el camino de rodadura del aro exterior y la bola. Observe las quemaduras en zigzag.

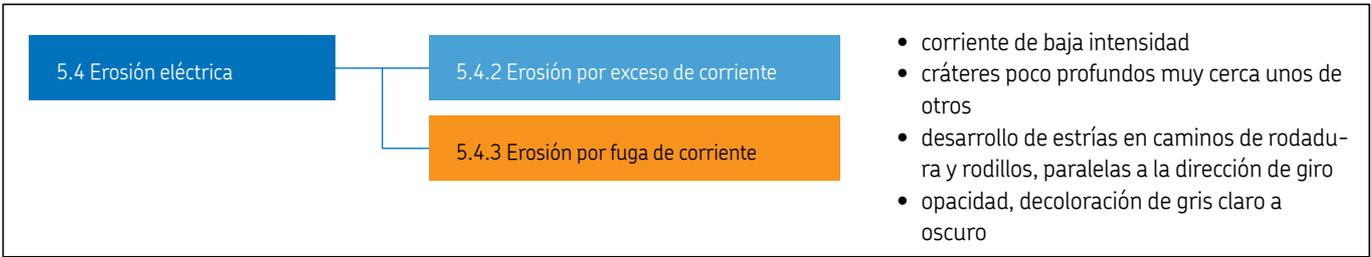
Erosión por exceso de corriente en el rodillo de un rodamiento de rodillos a rótula



Erosión por exceso de corriente en camino de rodadura del aro exterior y bola de un rodamiento rígido de bolas



Erosión por fuga de corriente



- corriente de baja intensidad
- cráteres poco profundos muy cerca unos de otros
- desarrollo de estrías en caminos de rodadura y rodillos, paralelas a la dirección de giro
- opacidad, decoloración de gris claro a oscuro

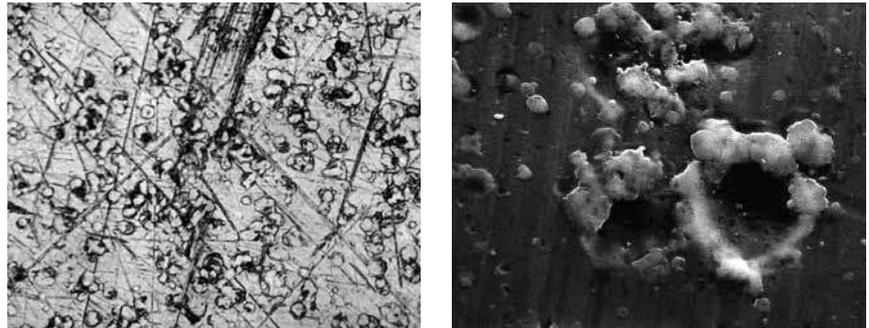
En la etapa inicial de erosión por fuga de corriente, la superficie está dañada, por lo general, por cráteres poco profundos muy cerca unos de otros y de diámetro pequeño en comparación con el daño por exceso de corriente. Esto sucede incluso si la intensidad de la corriente es comparativamente baja. Los cráteres se muestran en la **fig. 31** en magnificaciones de 500 veces y de 5000 veces.

Con el tiempo, se puede desarrollar un patrón de ondulación. El patrón aparece en los caminos de rodadura (→ **figs. 32 y 34**). Para rodamientos de rodillos el patrón de ondulación aparece también en los rodillos (→ **fig. 34**). En rodamientos de bolas, estas por lo general se decoloran (opacas, gris claro a oscuro) sobre toda su superficie.

La extensión del daño depende de una cantidad de factores: intensidad y duración de la corriente, carga, velocidad y lubricante.

Se muestra una sección transversal en la **fig. 33** en una magnificación de 500 veces. El área blanca muestra que el metal se ha templado, típicamente de 66 a 68 HRC. Este material es muy duro y frágil. Por debajo del área templada hay una capa negra, recocida por el calor, que es más blanda (56 a 57 HRC) que el material que la rodea.

Fig. 31



Cráteres causados por erosión por fuga de corriente

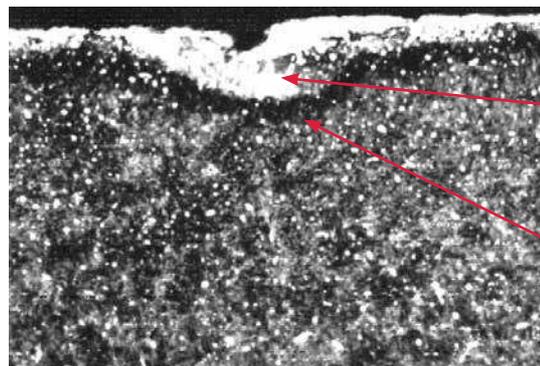
Ondulación causada por erosión por fuga de corriente

Cambios en la dureza del material resultantes de la fuga de corriente

Fig. 32

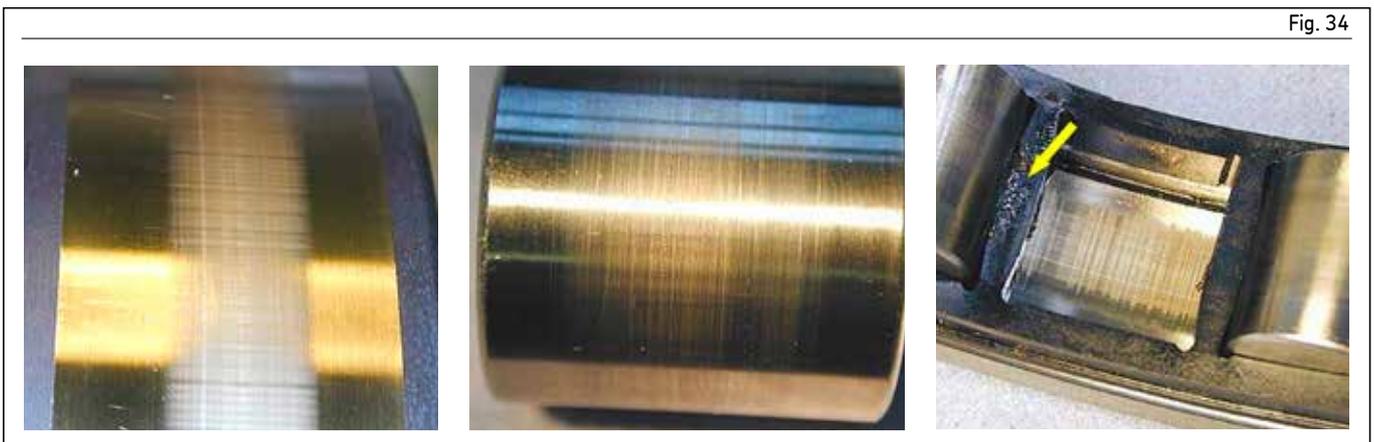


Fig. 33



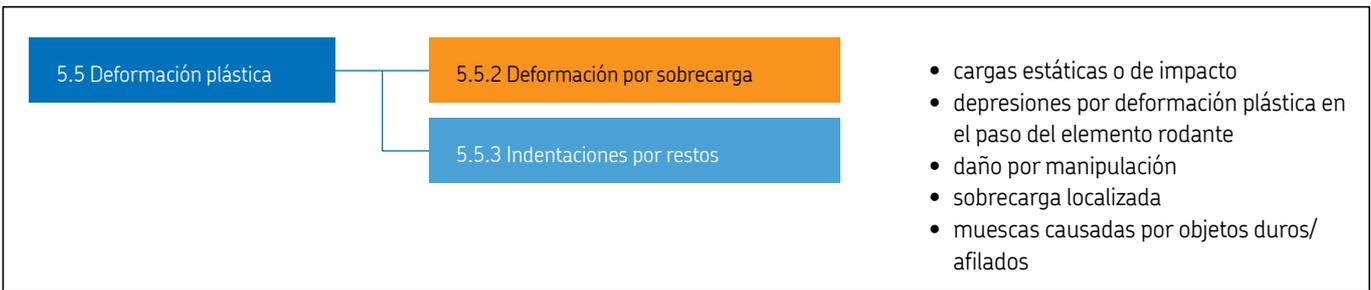
La **fig. 34** muestra el daño a un rodamiento de rodillos cilíndricos debido a fuga de corriente. El estriado se desarrolla en caminos de rodadura y rodillos. Nótese la grasa en las cavidades de la jaula. Al comienzo de este modo de falla, la grasa se carboniza gradualmente y pierde su capacidad de formar una película lubricante. Esto conduce, eventualmente, a fatiga iniciada en la superficie, descascarillado e incluso agarrotamiento repentino.

Ondulación en los aros interior y exterior y caminos de rodadura del rodillo



Deformación plástica

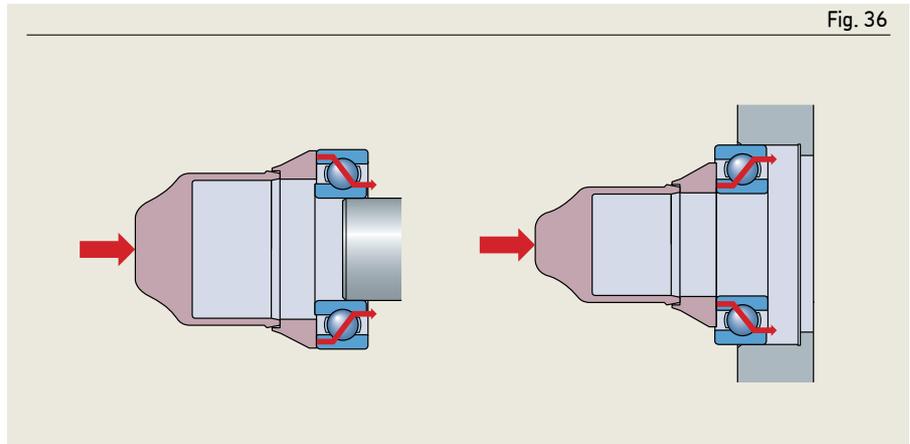
Deformación por sobrecarga



La deformación por sobrecarga la pueden causar la sobrecarga estática, las cargas de impacto o manipulación incorrecta. En cualquiera de estos casos, el daño resultante tiene el mismo aspecto, por lo que se los combina en un único submodo de falla.

La **fig. 35** muestra un caso en el que se golpeó una jaula en forma directa, causando su deformación. Si se pusiera a funcionar este rodamiento, ocasionaría alto nivel de ruido y vibraciones.

Los caminos de rodadura y los elementos rodantes se pueden mellar si la fuerza de montaje se aplica a través de los elementos rodantes (→ **fig. 36**), o si el rodamiento está sometido a carga anormal mientras está estacionario. La distancia entre las indentaciones es al paso del elemento rodante (→ **fig. 37**).



Deformación por sobrecarga resultante de un método de montaje incorrecto

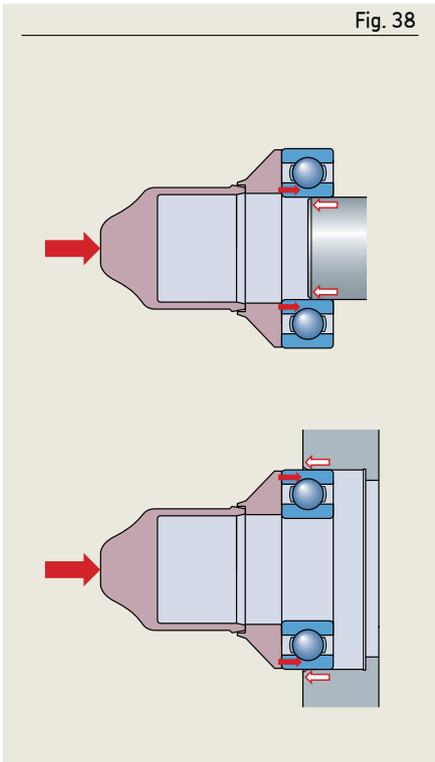
Deformación plástica en la jaula de un rodamiento de bolas de contacto angular resultante del manipuleo inadecuado



Indentaciones en el paso de la bola en el camino de rodadura de un rodamiento de dos hileras de bolas de contacto angular resultante del montaje incorrecto



Fig. 38



Montaje correcto

La solución: utilice siempre las herramientas y los métodos de montaje correctos (→ fig. 38).

La manipulación es crítica durante la fabricación, el transporte, el almacenamiento y el montaje. La manipulación inadecuada se caracteriza por la sobrecarga local y las “muecas” visibles causadas por objetos duros y/o afilados. La fig. 39 muestra un ejemplo de montaje incorrecto de un rodamiento de rodillos cilíndricos en la etapa de montaje. Los rodillos han causado muescas en el camino de rodadura del aro interior a la distancia de paso del rodillo. Si se pusiera a funcionar, ocasionaría alto nivel de ruido y vibración.

Aro interior de un rodamiento de rodillos cilíndrico con muescas producidas durante el montaje

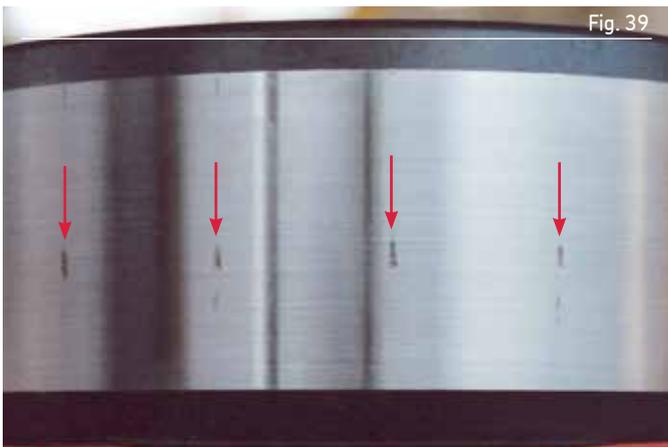
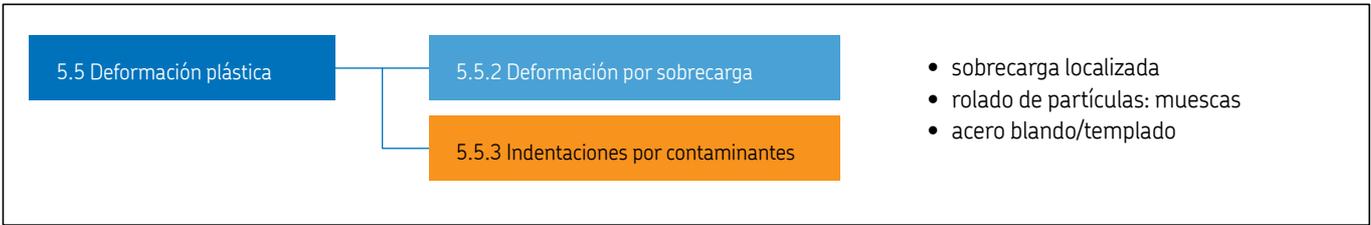


Fig. 39

Indentaciones por restos



Los contaminantes sólidos se pueden introducir en un rodamiento por los sellos o el lubricante. También pueden ser el resultado de desgaste o daños a un componente de contacto, tal como un engranaje.

Cuando los elementos rodantes causan el rolado de un contaminante sólido, este pasa al camino de rodadura y origina una indentación. No es necesario que la partícula que produce la indentación sea dura. Incluso las partículas blandas, si son lo suficientemente grandes, pueden ser perjudiciales.

El material elevado alrededor de los bordes de una indentación inicia la fatiga. Cuando el nivel de fatiga alcanza cierto punto, lleva a descascarillado prematuro, que se origina en el extremo posterior de la indentación (→ fig. 40). El descascarillado comienza como una grieta superficial.

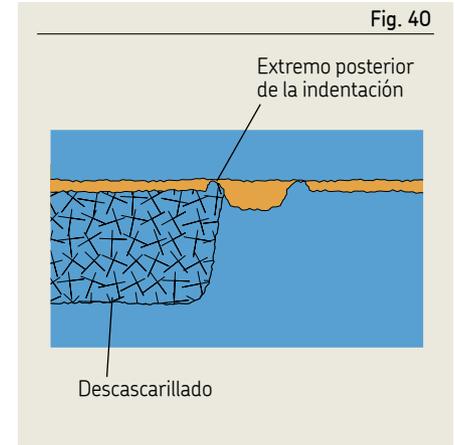
La teoría de vida de SKF posibilita calcular la reducción de vida que causan las indentaciones. Los datos de funcionamiento más importantes necesarios para el cálculo son

el tipo y tamaño del rodamiento, la velocidad de rotación, la carga, la relación de viscosidad, y el tamaño, la dureza y la concentración de las partículas contaminantes.

La limpieza del lubricante y la manipulación cuidadosa durante el montaje son factores importantes en la prevención de indentaciones.

La fig. 41 muestra descascarillado en un rodamiento rígido de bolas, resultante de una indentación. La dirección del rolado es de abajo hacia arriba. La forma en V es un signo típico de daño por indentación en un rodamiento en el que el descascarillado inicial se abre desde el extremo posterior de la indentación.

La fig. 42 muestra claramente las consecuencias de las indentaciones (aro interior de rodamiento de rodillos a rótula). La dirección del rolado es de derecha a izquierda. Un contaminante bastante grande y blando quedó atrapado en el camino de rodadura y se roló. En la parte inferior de la muesca, to-



Descascarillado que comienza en el extremo posterior de la indentación

avía se ven las líneas de rectificado. Nótese también el borde levantado alrededor de la muesca. A la izquierda, detrás de la muesca, hay un descascarillado grande (color negro) donde se desprendió el material. También hay algunas grietas, donde el material está a punto de desprenderse.

Descascarillado en el aro interior de un rodamiento rígido de bolas, resultante de una indentación

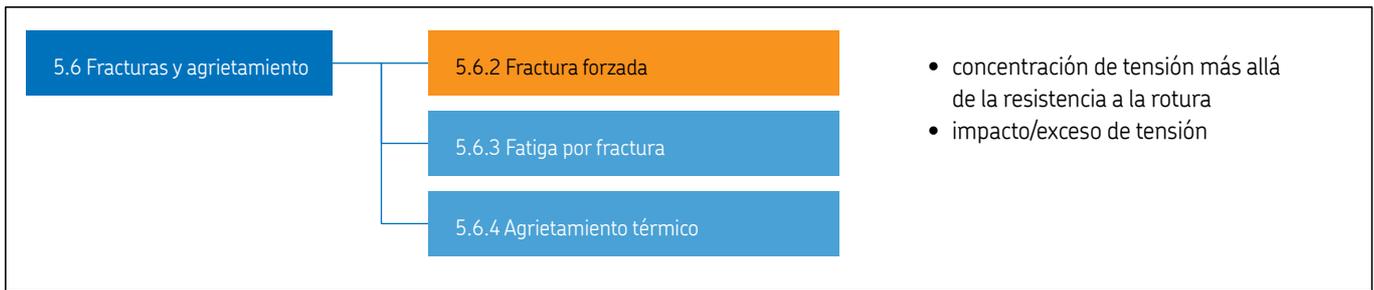


Descascarillado en un rodamiento de rodillos a rótula resultante de una indentación



Fracturas y agrietamiento

Fractura forzada



Una fractura forzada se produce cuando las concentraciones de tensión exceden la resistencia a la rotura del material. La sobrecarga local y el exceso de tensión son dos causas comunes de una fractura forzada.

La **fig. 43** muestra una causa común de fractura producto del tratamiento tosco. Se produce cuando los rodamientos se montan en frío, con martillo y cincel.

Golpear el aro en forma directa puede causar el desarrollo de grietas finas, que rápidamente se transformarán en una grieta completa cuando el rodamiento comience a funcionar.

El calado excesivo (→ **fig. 44**) en un asiento cónico puede causar la fractura de un aro interior. Las tensiones circunferenciales que aparecen en el aro como resultado del calado excesivo provocan grietas durante su uso. Los aros con tratamiento térmico martensítico son más sensibles que los bainíticos.

Puede suceder lo mismo cuando los rodamientos se calientan y se montan en ejes sobredimensionados.

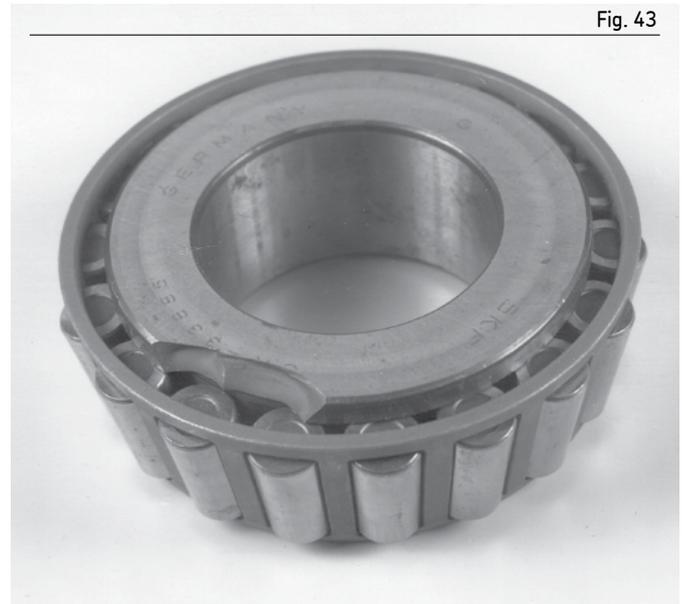


Fig. 43

Fractura en el resalte grande del aro interior de un rodamiento de rodillos cónicos resultante del tratamiento tosco

Aro interior fracturado de un rodamiento de rodillos a rótula con agujero cónico, resultante del calado excesivo

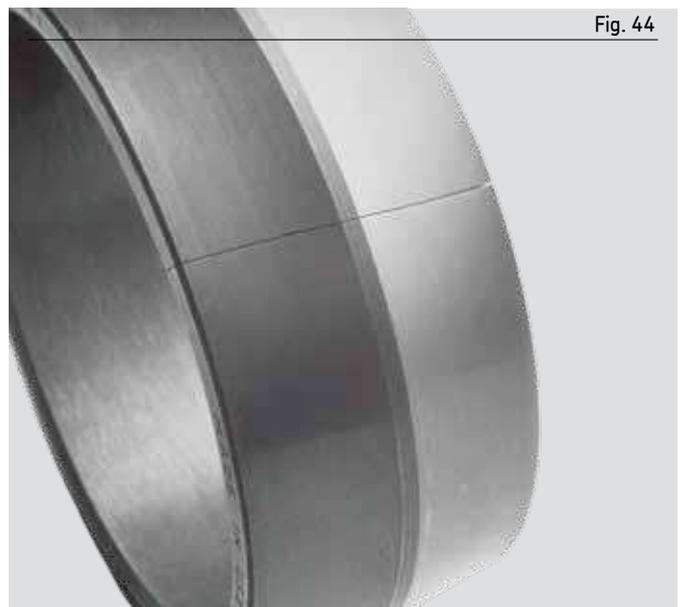
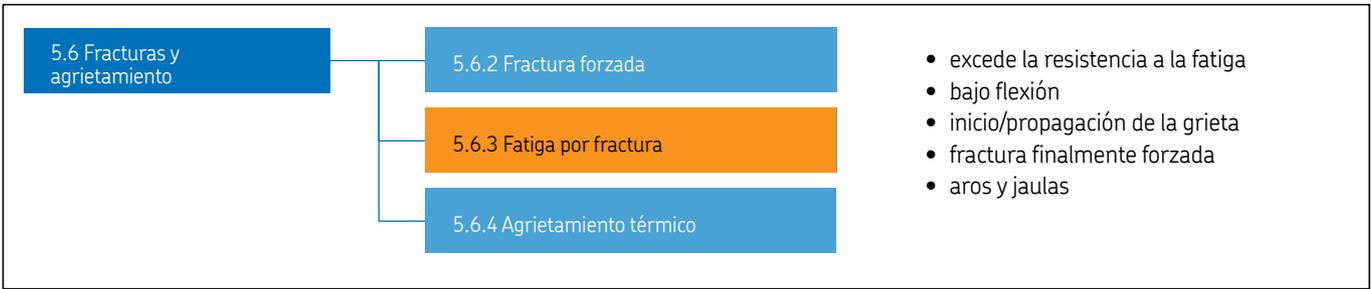


Fig. 44

Fractura por fatiga



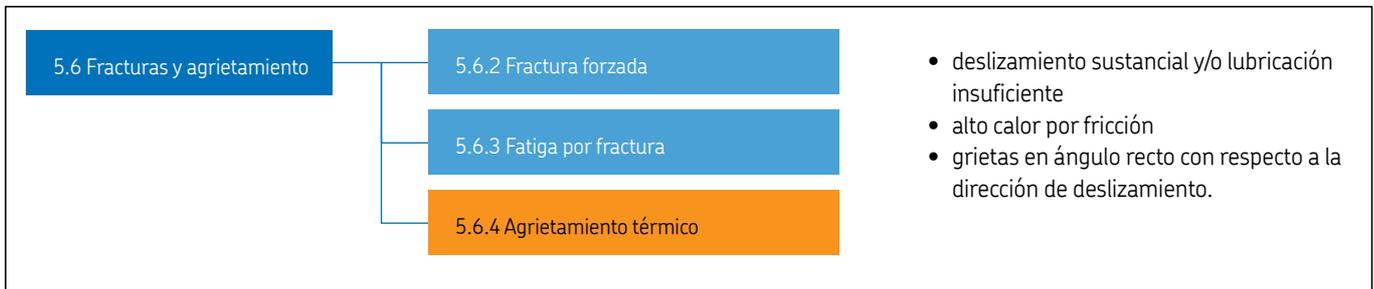
Una fractura por fatiga comienza cuando se excede la resistencia a la fatiga de un material bajo flexión cíclica. Las flexiones repetidas causan una grieta filiforme que se propaga hasta que el aro o la jaula desarrolla una grieta completa.

La **fig. 45** muestra un ejemplo de aro exterior agrietado de un rodamiento de rodillos a rótula. El rodamiento se montó en un soporte con insuficiente apoyo en la zona de carga. Como resultado, el aro exterior del rodamiento fue sometido a tensiones de flexión cíclicas, hasta que se desarrolló la grieta completa.

Fractura por fatiga de un aro exterior de un rodamiento de rodillos a rótula



Agrietamiento térmico



Dos superficies que se deslizan una contra otra generan calor por fricción. Si el deslizamiento es sustancial, el calor puede causar grietas, que por lo general están en ángulo recto con respecto a la dirección del deslizamiento.

Se muestra un ejemplo típico en la **fig. 46**. Un aro interior giratorio se instaló con ajuste flojo y se sometió a carga axial. Debido a la deformación, hubo un movimiento de deslizamiento entre la cara lateral del rodamiento y el resalte del eje o espaciador, que provocó adherencias. El calor por fricción produjo grietas transversales, y eventualmente el aro se agrietará por completo.

Grietas térmicas transversales sobre la cara lateral pequeña del aro interior de un rodamiento de rodillos cónicos

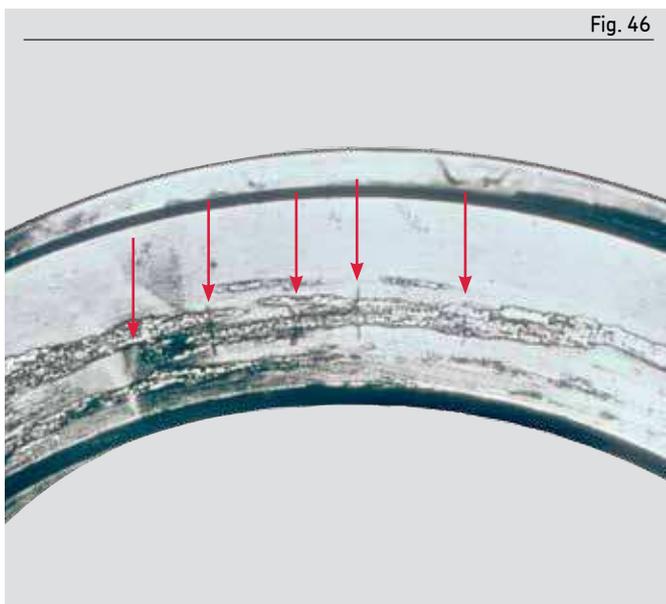


Fig. 46

5 Daños y acciones

Como respaldo del capítulo 4, Clasificación ISO de modos de falla, en este capítulo se muestran otras ilustraciones.

No es posible cubrir todas las clases de daños. El daño de rodamientos tendrá distinto aspecto según el tipo y tamaño del rodamiento, las condiciones de funcionamiento, la lubricación, la contaminación, etc. Por eso, solo se presentan una cantidad limitada de casos.

Las ilustraciones se clasifican por submodo, siguiendo la clasificación ISO. Para cada submodo, se proporciona una lista de posibles acciones. Para cada ilustración, se indica el tipo de rodamiento y el componente dañado, así como la posible causa raíz.

Fatiga iniciada en la subsuperficie

Acciones:

- Asegúrese de que tiene el rodamiento correcto para las condiciones reales de la aplicación y sus variaciones (carga, temperatura, velocidad, desalineación, montaje, etc.)
- Utilice rodamientos modernos y calidad de última generación
- Si están disponibles, utilice rodamientos de la clase de rendimiento SKF Explorer, que proporcionan vida prolongada
- Asegúrese de que los componentes de contacto estén diseñados y fabricados correctamente
- Móntelos correctamente



Aro interior de rodamiento rígido de bolas
Fatiga del material



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula
Fatiga del material



Aro interior de rodamiento de rodillos cónicos
Descascarillado en solo un lado del camino de rodadura, resultante de desalineación y la consecuente carga sobre los bordes, que lleva a mayor tensión y falla



Aro exterior de rodamiento de bolas a rótula
Descascarillado a 180°, resultante de carga excesiva debido a fijación ovalizada

Fatiga iniciada en la superficie

Acciones:

- Asegúrese de que tiene el rodamiento correcto para las condiciones reales de la aplicación y sus variaciones (carga, temperatura, velocidad, desalineación, montaje, etc.)
- Asegúrese de que la lubricación es adecuada: lubricante correcto, cantidad correcta, momento correcto
- Mejore la capacidad de separación de superficies del lubricante (viscosidad, aditivos, formulación de la grasa)
- Verifique la calidad del lubricante a intervalos regulares
- Reduzca la contaminación (sellado mejorado, filtración de aceite)



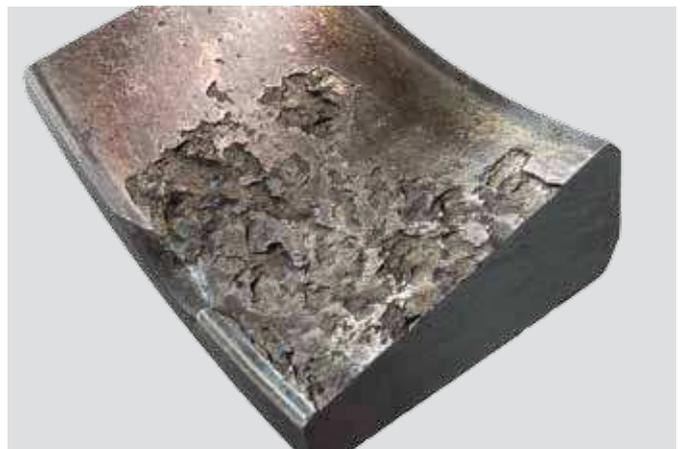
Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula
Lubricación inadecuada, deformación superficial con descascarillado incipiente



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula
Película de lubricante inadecuada. El desgaste abrasivo inicial debido a contaminación se transformó en deformación superficial y descascarillado



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
El desgaste abrasivo inicial debido a contaminación se transformó en deformación superficial y descascarillado avanzado



Aro exterior de rodamiento de rodillos cónicos
Película de lubricante inadecuada que conduce a deformación superficial y descascarillado



Aro interior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Película de lubricante inadecuada, desalineación excesiva, deformación superficial avanzada



Aro exterior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Película de lubricante inadecuada, alguna desalineación, deformación superficial avanzada



Aro interior de rodamiento de rodillos cónicos
Película de lubricante inadecuada, deformación superficial sobre un área grande



Aro interior de rodamiento rígido de bolas
Carga axial excesiva, que da como resultado una película de lubricante demasiado fina y deformación superficial



Aro interior de rodamiento de dos hileras de bolas de contacto angular
Desalineación excesiva, que resulta en cargas excesivas con dos zonas de carga a 180°



Aro interior de rodamiento rígido de bolas
Impacto durante el montaje, que ocasiona descascarillado en el paso de las bolas

5

Desgaste abrasivo

Acciones:

- Asegúrese de que existe una disposición de sellado adecuada que considere las condiciones de funcionamiento
- Asegúrese de que la lubricación es adecuada: lubricante correcto, cantidad correcta, momento correcto
- Verifique la calidad del lubricante a intervalos regulares
- Verifique la calidad de la disposición de rodamientos a intervalos regulares
- Asegúrese de que los ajustes de soporte y eje son adecuados para evitar deformación



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula

Contaminación y lubricación inadecuada resultante que llevan al desgaste abrasivo de las pistas del camino de rodadura, ligeramente brillantes



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Desgaste abrasivo de las pistas del camino de rodadura en etapa temprana



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Desgaste abrasivo de las pistas del camino de rodadura. La que tiene carga axial solo está decolorada en parte, lo que indica lubricación inadecuada y generación de calor. La otra pista muestra un patrón de carga más estrecho con aspecto mate



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula

Contaminación por partículas finas; desgaste abrasivo de las pistas del camino de rodadura, bastante brillantes. Debido al desgaste de la cavidad de la jaula, la jaula cortó una ranura en cada lado



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula

Contaminación y lubricación inadecuada resultante que llevan al desgaste abrasivo de las pistas del camino de rodadura, una más dañada por carga axial ligeramente brillantes



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula

Ingreso de contaminantes que conduce a lubricación inadecuada, desgaste abrasivo en las pistas y descascarillado incipiente



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula

Aro interior estacionario; gran desgaste abrasivo; dos zonas de desgaste: una con gran desgaste; luego, deformación del aro interior con posterior segunda zona de desgaste



Jaula de rodamiento de bolas de contacto angular

Desgaste abrasivo de las cavidades de la jaula debido a lubricación inadecuada vibración. Varillas de la jaula desgastadas



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Deformación del aro en el soporte por ajuste inadecuado; marcas de desgaste abrasivo en la superficie exterior



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Deformación del aro en el soporte por ajuste inadecuado; desgaste por pulido en la superficie exterior

5

Desgaste por adherencias

Acciones:

- Asegúrese de que el rodamiento esté cargado de manera adecuada
- Asegúrese de que la disposición de sellado funciona eficientemente
- Considere reducir el tamaño de los rodamientos
- Verifique la selección del lubricante (viscosidad, aditivos anti-desgaste (Anti-Wear, AW) y extrema presión)
- Considere utilizar recubrimientos
- Considere utilizar rodamientos híbridos



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula
Carga demasiado baja combinada con lubricación inadecuada



Aro interior de rodamiento de rodillos cónicos
Contaminación y lubricación inadecuada que resulta en desgaste por adherencias de la pestaña, y a una pista de rodadura brillante



Rodillo de rodamiento de rodillos cónicos
Contaminación y lubricación inadecuada que conduce al desgaste por adherencias; marcas en el extremo grande del rodillo



Aro exterior de rodamiento axial de rodillos a rótula
Desgaste por adherencias inicial, luego generación de calor excesivo y por último, agarrotamiento

Corrosión por humedad

Acciones:

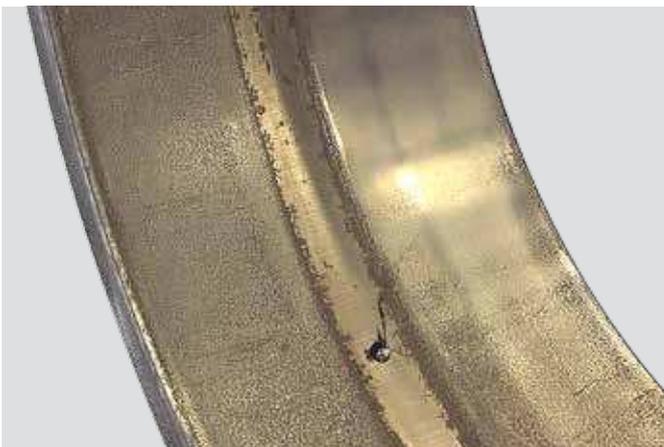
- Asegúrese de que la disposición de rodamientos tiene la protección adecuada
- Considere utilizar rodamientos sellados, según el entorno de funcionamiento
- Asegúrese de que la lubricación es adecuada: lubricante correcto, cantidad correcta, momento correcto
- No retire los rodamientos de su empaque hasta montarlos
- Proteja los rodamientos montados de manera adecuada



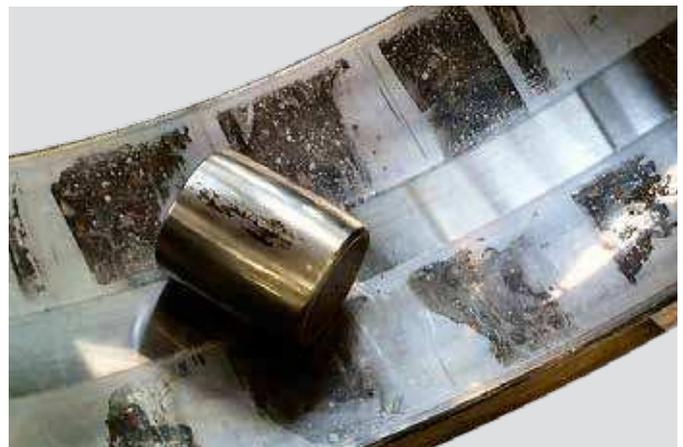
Rodamiento de rodillos cónicos en una unidad de bomba
Falla del sello, corrosión del rodamiento y grasa rojiza descolorida



Rodillo de rodamiento de rodillos a rótula
Rodillo corroído debido a penetración severa de agua en el rodamiento



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
Falla de la disposición de sellado; sustancia corrosiva ingresó al rodamiento



Aro exterior y rodillo de rodamiento de rodillos a rótula
Demasiado contenido de agua en el lubricante, corrosión del camino de rodadura en el paso del rodillo durante parada



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Demasiado contenido de agua en el lubricante, grupos de marcas de deca-pado en el paso del rodillo durante parada



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula

Lubricante contaminado con agua, marcas de deca-pado en el paso del rodillo durante parada



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Falla de la disposición de sellado, corrosión durante parada



Rodillo de rodamiento de rodillos cónicos

Superficie herrumbra en el camino de rodadura resultante de tran-spiración de los dedos

Corrosión por contacto

Acciones:

- Seleccione los ajuste apropiados
- Asegúrese de que los asientos de los rodamientos estén mecanizados correctamente
- Asegúrese de que los asientos de los rodamientos cumplan las especificaciones dimensionales y geométricas (incluso después de reparar el equipo)
- En el caso de ajustes flojos, considere aplicar una pasta anticorrosiva o recubrimientos en una de las superficies de los rodamientos



Aro interior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Ajuste de eje inadecuado (demasiado flojo)



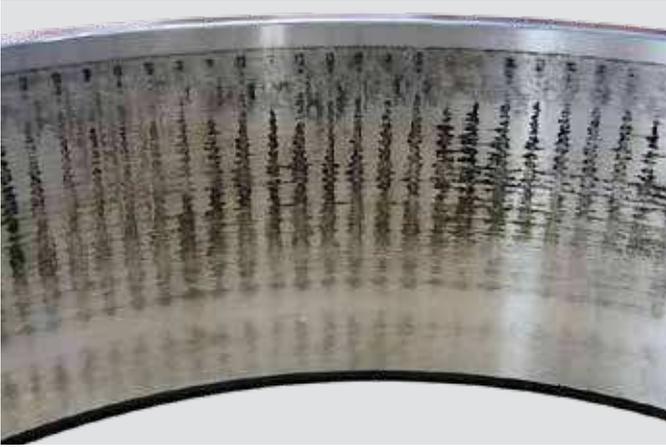
Aro interior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Ajuste de eje inadecuado, apoyo irregular



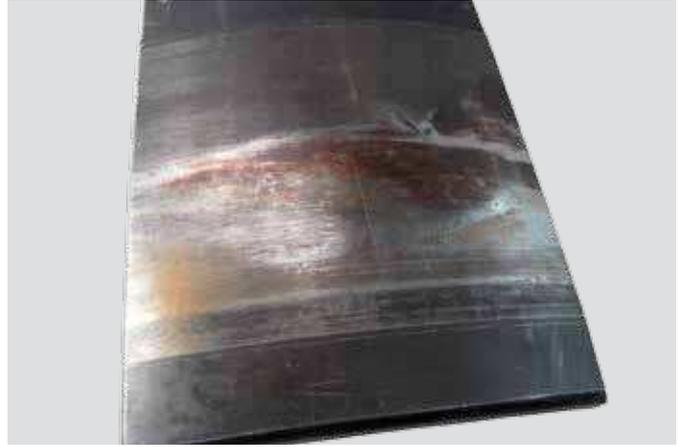
Aro interior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Ajuste de eje inadecuado, apoyo irregular



Aro interior de rodamiento de rodillos cónicos
Ajuste de eje inadecuado



Aro interior de rodamiento de rodillos cónicos
Marcas de micromovimientos que corresponden a la ondulación del mecanizado del eje



Aro exterior de rodamiento de rodillos cónicos (fosfatado)
Apoyo del aro irregular



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
Área de corrosión por contacto de color marrón, causada por micromovimientos debido a descascarillado avanzado en camino de rodadura, con rayaduras por el desmontaje



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
Aro con apoyo inadecuado



Arandela del eje de rodamiento axial de rodillos a rótula
Asiento inadecuado

Vibrocorrosión

Acciones:

- No exponga los rodamientos a vibraciones durante paradas
- Considere instalar amortiguadores de vibraciones
- Aplique lubricante con propiedades antivibrocorrosión
- Gire los equipos parados a intervalos regulares
- Utilice diseños de rodamientos adecuados para aplicaciones vibratorias



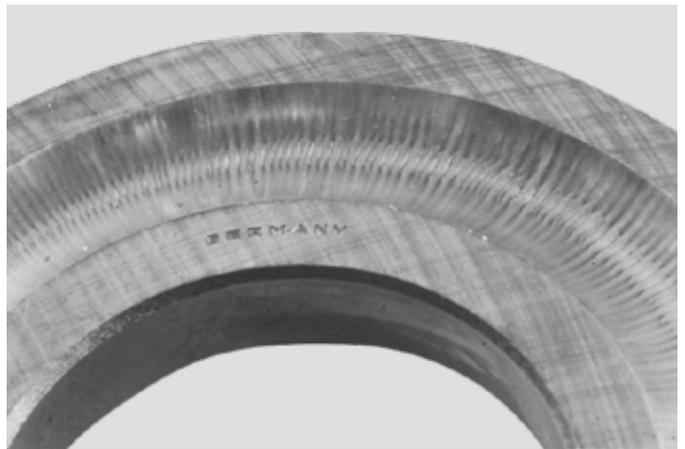
Aros interior y exterior de rodamiento de rodillos cilíndricos

Exposición a vibraciones durante parada, marcas de vibrocorrosión en el paso del rodillo



Aro exterior de rodamiento de dos hileras de rodillos cónicos

Exposición a vibraciones durante parada, marcas de vibrocorrosión en el paso del rodillo



Arandela del eje de rodamiento axial de bolas

Exposición a vibraciones durante parada, varios grupos de marcas de vibrocorrosión en el paso de la bola



Aro interior de rodamiento de rodillos toroidales CARB

Exposición a vibraciones durante parada con pequeños movimientos oscilatorios, marcas de vibrocorrosión en el paso del rodillo



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Exposición a vibraciones excesivas durante parada, marcas de vibrocorrosión en el paso del rodillo

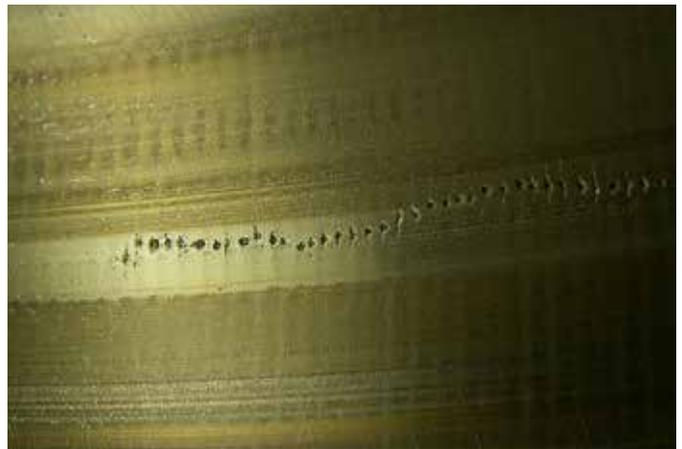
Exceso de corriente

Acciones:

- Asegúrese de que las conexiones a tierra estén instaladas correctamente
- Utilice rodamientos aislados (INSOCOAT o híbridos)



Rodillo de rodamiento de rodillos a rótula
El exceso de corriente origina una gran cantidad de cráteres en una formación tipo collar de cuentas



Rodillo de rodamiento de rodillos a rótula
Vista ampliada de cráteres en una formación tipo collar de cuentas



Rodillo de rodamiento de rodillos a rótula
El exceso de corriente origina una gran cantidad de cráteres en una formación en zigzag



Aro interior y bola de un rodamiento rígido de bolas
El exceso de corriente origina una cantidad de cráteres en una formación en zigzag sobre la bola y el camino de rodadura

Fuga de corriente

Acciones:

- Utilice cableado simétrico
- Asegúrese de que el estator y el rotor estén alineados correctamente
- Utilice rodamientos aislados (INSOCOAT o híbridos)
- Asegúrese de que las conexiones a tierra estén instaladas correctamente



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Daños en etapa temprana: zona gris opaca con pequeños cráteres poco profundos



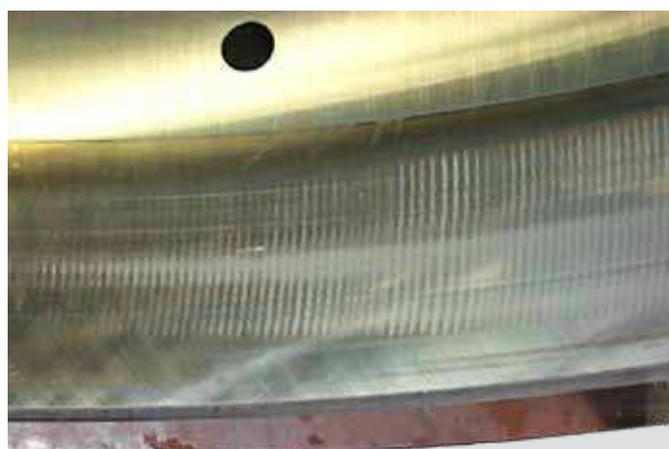
Aro exterior de rodamiento de rodillos cilíndricos

Etapa temprana de ondulación



Aro exterior de rodamiento de rodillos cónicos

Etapa temprana de ondulación



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Fuga de corriente



Aro exterior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Etapa avanzada de ondulación



Aro exterior y bola del rodamiento rígido de bolas
Ondulación en el aro exterior y superficie de bola opaca



Bolas de rodamiento rígido de bolas
Izquierda: bola dañada; superficie opaca
Derecha: bola nueva; superficie brillante



Aro exterior de rodamiento de rodillos cilíndricos con jaula, rodillos y grasa
La fuga de corriente resultó en grasa quemada (negro) en las barras de la jaula

Sobrecarga

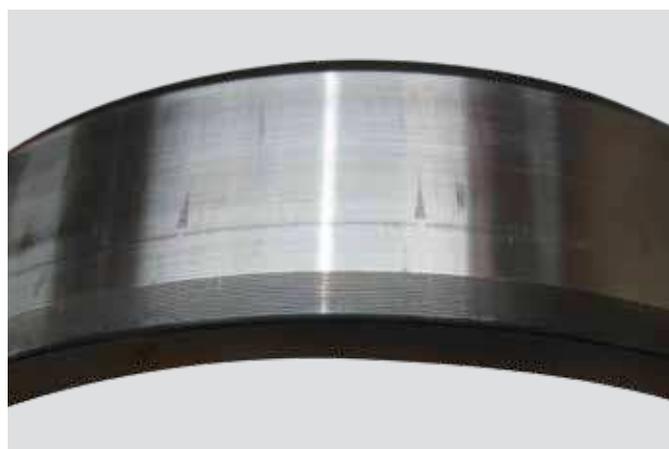
Acciones:

- Utilice los métodos de montaje de rodamientos apropiados
- Utilice las herramientas apropiadas de montaje
- Siga cuidadosamente los procedimientos e instrucciones de montaje



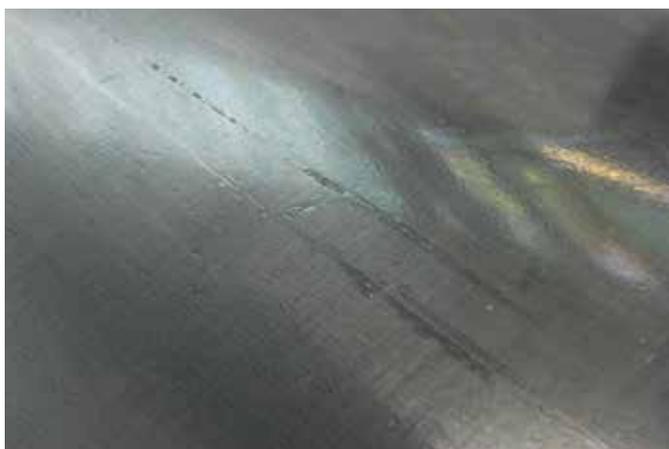
Aro interior de rodamiento de rodillos cilíndricos

Durante el montaje, los aros interior y exterior no se alinearon correctamente. Marcas axiales en el paso del rodillo

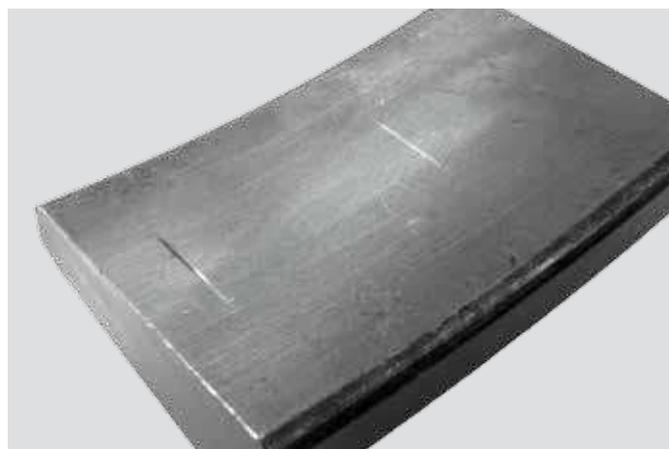


Aro interior de rodamiento de rodillos cilíndricos

Durante el montaje, los aros interior y exterior no se alinearon correctamente. Marcas axiales en el paso del rodillo



Aro exterior de rodamiento de rodillos cónicos
Rayaduras durante el manipuleo



Aro exterior de rodamiento de rodillos cónicos
Rayaduras durante el montaje



Aro exterior de rodamiento de dos hileras de rodillos cónicos
Impacto por sobrecarga y desalineación durante la parada, que origina deformación y el posterior descascarillado en el paso del rodillo



Rodillo de rodamiento axial de rodillos a rótula
Fuerte impacto, deformación plástica



Aro exterior de rodamiento rígido de bolas
Deformación plástica en el paso de la bola, por aplicación de fuerza de montaje sobre el aro incorrecto



Rodamiento de rodillos cónicos montado en un juego de ruedas ferroviarias
En el montaje, la jaula se golpeó en forma directa, lo que causó deformación permanente (aplanamiento)

Indentaciones

Acciones:

- Asegúrese de trabajar en condiciones limpias
- Utilice el sellado adecuado para proteger al rodamiento
- Asegúrese de que la lubricación es adecuada: lubricante correcto, cantidad correcta, momento correcto
- Nunca deje caer un rodamiento
- Trátelo con cuidado



Aro interior de un rodamiento rígido de bolas
 Muecas resultantes del desplazamiento excesivo de partículas duras; disposición de sellado inadecuada



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula
 Múltiples pequeñas muescas resultantes del desplazamiento excesivo de partículas duras; disposición de sellado inadecuada



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
 Desplazamiento excesivo de partículas duras que ingresaron al rodamiento durante el montaje; falta de limpieza



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
 El desplazamiento excesivo de las virutas/rebabas originarán descascarillado

5



Aro interior de rodamiento de rodillos cónicos

Desplazamiento excesivo de partículas grandes y duras que ingresaron al rodamiento debido a la disposición de sellado inadecuada



Bola de rodamiento rígido de bolas

Daño resultante de partículas duras en lubricante muy contaminado



Aro interior de rodamiento rígido de bolas

Rolado de partículas con descascarillado secuencial que comienza en la parte posterior de las indentaciones



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula

Rolado excesivo de virutas que ingresaron durante el montaje; falta de limpieza

Fractura forzada

Acciones:

- Seleccione los ajuste apropiados
- Utilice los métodos de montaje de rodamientos apropiados
- Utilice las herramientas apropiadas de montaje
- Siga cuidadosamente los procedimientos e instrucciones de montaje
- Nunca utilice la fuerza en los rodamientos ni aplique fuerza a través de los elementos rodantes para montarlos



Aro interior de rodamiento de rodillos cónicos
El rodamiento se instaló sobre un eje sobredimensionado



Cara lateral del aro exterior de rodamiento rígido de bolas
Fractura en la ranura de fijación del sello debido a un impacto en el montaje



Aro exterior de rodamiento de bolas a rótula
Fractura producida por desalineación excesiva y bolas que se desplazan sobre el borde del camino de rodadura



Rodamiento de rodillos cilíndricos; aro interior, aro exterior y rodillos
Rodamiento agarrotado; fractura forzada de la jaula debido a problema de lubricación

Fractura por fatiga

Acciones:

- Asegúrese de que los asientos de rodamientos cumplen las especificaciones de geometría
- Para soportes partidos, asegúrese de que las dos partes se unen correctamente
- Los asientos de los rodamientos deben estar limpios (sin virutas ni rebabas, que podrían causar el incremento de la tensión localizada)
- Aplique los torques de apriete recomendados para los soportes partidos



• *Utilice las herramientas y métodos de montaje adecuados*
Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula
Descascarillado muy intenso; fractura por fatiga como daño posterior



Aro interior de rodamiento de rodillos a rótula
Descascarillado muy intenso; fractura por fatiga como daño posterior



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
Fractura por fatiga resultante del asiento de soporte inadecuado (viruta atrapada en la parte inferior del soporte)



Aro exterior de rodamiento de rodillos a rótula
Asiento de soporte inadecuado que causa corrosión por contacto y, finalmente, fractura por fatiga

Agrietamiento térmico

Acciones:

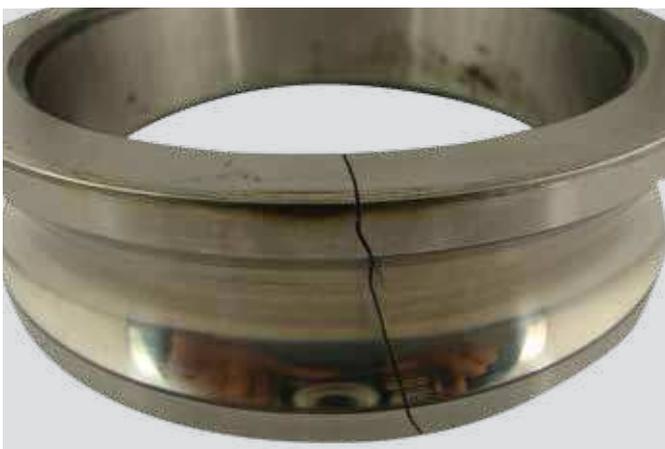
- Lubrique las superficies deslizantes o aplique recubrimientos para reducir las temperaturas pico locales
- Asegúrese de que la lubricación es adecuada: lubricante correcto, cantidad correcta, momento correcto
- Compruebe las soluciones para esa aplicación específica con el servicio de ingeniería de aplicaciones de SKF



Aro exterior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Grietas térmicas en ambos contactos resalte-jaula debido a la lubricación inadecuada



Aro exterior de rodamiento de rodillos cilíndricos
Grietas térmicas en el contacto resalte-jaula debido a la lubricación inadecuada



Aro interior de rodamiento rígido de bolas
Aro fracturado debido a excesiva fricción contra una parte estacionaria del conjunto de rodamientos



Aro interior de rodamiento rígido de bolas
Vista ampliada del aro fracturado, con muchas grietas por calor a lo largo del resalte del aro interior

5

6 Otras investigaciones

El alcance de la norma ISO 15243 se limita a:

- daños y cambios de aspecto que ocurren en el rodamiento durante la vida útil
- cambios de aspecto que se pueden atribuir a causas específicas con un alto grado de certeza
- evaluación de daños mediante métodos no destructivos

Con estos límites, no siempre es posible determinar la causa raíz de una falla. Podrían necesitarse investigaciones más profundas. SKF ofrece una variedad de servicios de inspección profunda en tres áreas de experiencia y conocimientos:

Metalurgia

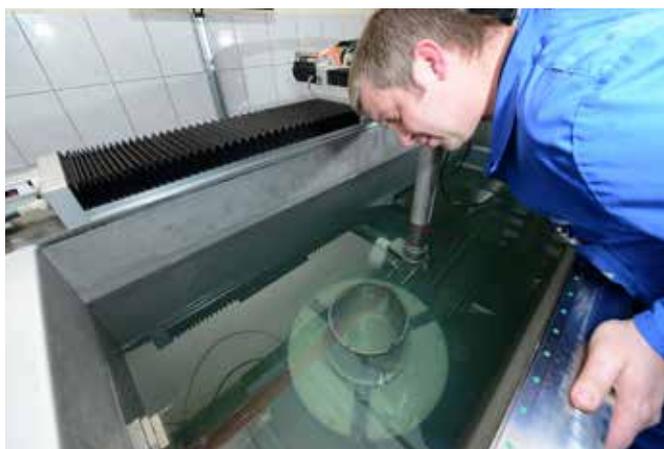
- evaluación de todos los tipos de tratamiento térmico
- ensayos de micro y macroinclusiones, anomalías de la microestructura, redes de carburo y segregaciones, tamaño de grano, flujo de fibra, defectos de superficie, templabilidad y otros parámetros metalúrgicos
- pruebas de dureza, determinación de la resistencia a la rotura, límite elástico y estiramiento, pruebas de componentes y otros parámetros técnicos
- análisis metalúrgicos
- soporte para desarrollar especificaciones de materiales, ensayos y tratamiento térmico
- servicio de ensayo por inmersión ultrasónica (aros completos, rodillos, etc.)



Evaluación de microestructuras



Preparación de muestras de material



Banco de pruebas ultrasónicas

Análisis de fallas y desempeño

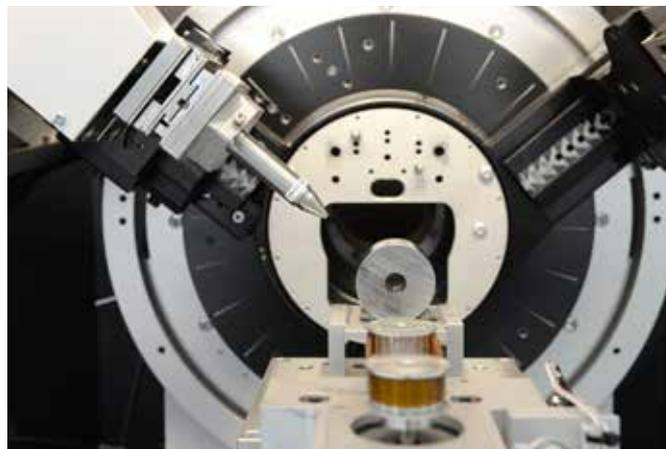
- análisis de fallas de rodamientos y otros componentes de producción (p. ej. soportes, árboles de levas), bancos de prueba o devoluciones de campo
- metalografía y ensayo de materiales
- microanálisis de partículas y contaminación de rodamientos, capas y recubrimientos reactivos
- análisis de respuesta de material basado en difracción de rayos X (XRD) de los rodamientos de bancos de prueba o del campo, para identificar el mecanismo y el avance de la carga de material
- XRD para medir niveles de austenita retenida
- consultoría tecnológica y de materiales

Química, propiedades y desempeño

- evaluación de las propiedades físicas y químicas de los lubricantes, polímeros y materiales de sellos
- ensayo de grasas y aceites para determinar la vida remanente de la grasa y los niveles y tipos de contaminación
- análisis elemental de materiales
- ensayo de la composición química de los metales por espectrometría de emisión óptica, fusión de gas inerte o métodos de combustión
- evaluación de conservadores y recubrimientos
- ensayo de compatibilidad de lubricantes, polímeros y materiales de sellos
- evaluación de limpieza de lubricantes y rodamientos, que incluye recuento de partículas e investigación gravimétrica



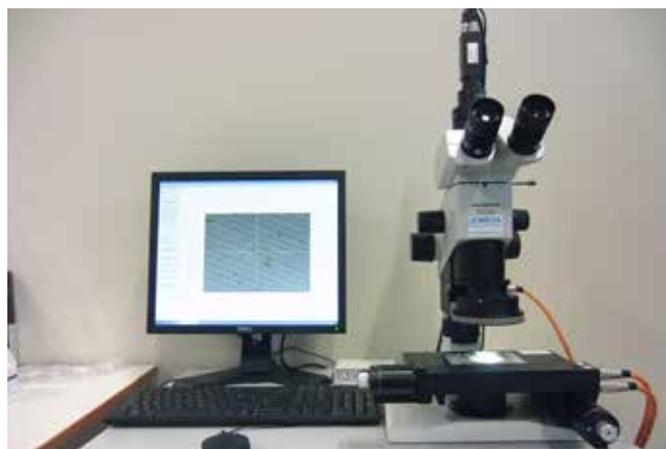
Microscopio electrónico de barrido



Aparato de difracción de rayos X



Evaluación de limpieza (análisis de contaminación); enjuague



Evaluación de limpieza (análisis de contaminación); evaluación automática

7 Estudio de casos

Este capítulo trata de algunos estudios de caso. Aunque algunas fueron complejas, las investigaciones minuciosas permitieron a los ingenieros de SKF determinar la secuencia de fallas y sugerir acciones correctivas.

Descarrilamiento ferroviario

Antecedentes

Industria:	Ferroviaria
Aplicación:	Cajas de grasa SKF para vagones de mercadería (→ figs. 1 y 2), carga útil de eje de 20 ton
Rodamientos:	2 x SKF 229750 J/C3R505 por caja de grasa
Problema:	Descarrilamiento

Vagones equipados con bogies "Y-25", que incorporan cajas de grasa con una suspensión de doble resorte



Un tren que transportaba carga pasó un detector de calor (un dispositivo colocado a intervalos en las vías férreas para detectar rodamientos que funcionan en caliente). Todo parecía normal.

Pero a los 35 km, el tren descarriló. Se había roto el eje de una rueda. Un taller ferroviario autorizado de reparaciones había reparado el vagón en cuestión no hacía mucho tiempo.

Observaciones y descripción del daño de rodamientos y cajas de grasa

Esto fue mucho más que un rodamiento caliente (→ **fig. 3**). El aro exterior del rodamiento interno se deformó severamente. En función del nivel de deformación, el metal alcanzó una temperatura muy superior a 800 °C (1 470 °F). Había un intersticio entre el aro exterior del rodamiento interior y el sello laberíntico que medía 21 mm (**fig. 3**, parte inferior izquierda).

El espaciador de eje tenía un ancho de solo 14 mm.

Análisis de fallas

Hay dos versiones distintas de esta caja de grasa que son casi idénticas:

- La versión primera, la que se discute aquí, diseñada para una carga útil de eje de 20 ton, utilizó un espaciador de 35 mm entre los aros interiores del rodamiento.
- La versión posterior, diseñada para carga útil de eje de 22,5 ton, utilizó un espaciador de 14 mm entre los aros interiores del rodamiento. El espaciador más corto resultó en un eje más corto y más fuerte para tolerar la carga útil más pesada.

El espaciador más corto se instaló, aparentemente, durante la reparación. Como resultado, los anillos interiores del rodamiento no estaban fijados axialmente de manera apropiada y podían moverse sobre su asiento de eje hacia el lado exterior, lo que incrementó la flexión del eje. Además, los aros exteriores no estaban adecuadamente colocados en el soporte de la caja de grasa, llevando al contacto axial en los sellos laberínticos. Esto ocasionó elevado calor por fricción, agarrotamiento del rodamiento, fractura del eje y descarrilamiento.

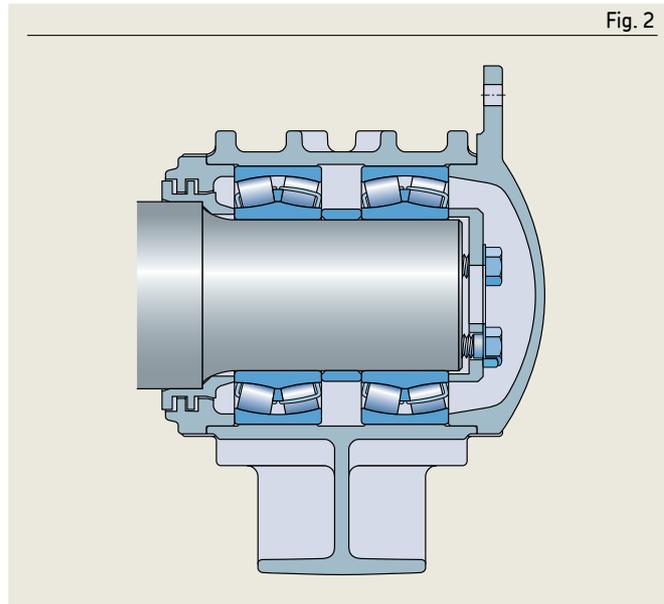
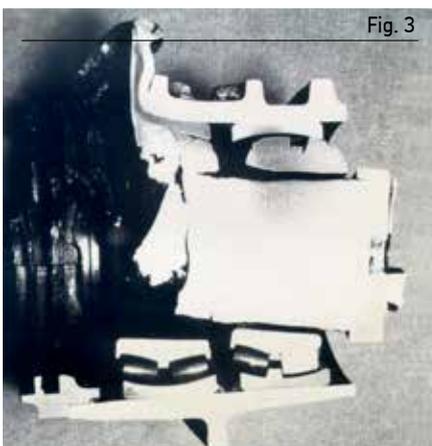
Conclusiones

Instalar un componente incorrecto, incluso un espaciador pequeño, condujo a un costo total muy alto (vías de ferrocarril, catenaria, horas de interrupción del tráfico, seis vagones a la estación de desguace).

Recomendaciones al cliente

Mejorar las instrucciones de mantenimiento y asegurarse de que no sean ambiguas

Restos de la caja de grasa que falló (corte) presentada para el análisis de fallas



Típica disposición de rodamientos de caja de grasa para carga útil de eje de 20 ton

Los aros interiores del rodamiento interno y del externo se mantienen en su lugar mediante un collar laberíntico sobre el eje, un espaciador de 35 mm entre los aros interiores y una placa de fijación. La caja de grasa está fijada axialmente por una tapa laberíntica partida en el lado interno y una tapa lateral en el lado externo.

Acciones correctivas

El cliente revisó y mejoró las instrucciones de mantenimiento, para asegurarse de que no vuelvan a ocurrir tales accidentes.

Problemas en motor eléctrico de velocidad variable

Antecedentes

Industria:	Celulosa y papel
Aplicación:	Motor eléctrico de velocidad variable en la sección de carrete (→ fig. 4) de una máquina para fabricar papel tisú, de 400 V CA con convertidor de frecuencia
Rodamientos:	Libre: NU 322 ECM/C3VL024 (aislado) Fijo: 6322 M/C3VL024 (aislado)
Velocidad:	Variable, 1 000 a 1 500 r. p. m.
Lubricación:	Grasa SKF LGEP 2; lubricación manual
Problema:	Vida útil promedio del rodamiento de solo 1 a 2 meses

Observaciones y descripción del daño de rodamientos

Después de funcionar solo un mes, había daños severos en el rodamiento de rodillos cilíndricos. (El rodamiento de bolas no se afectó). El equipo se detuvo debido a los altos niveles de vibración.

Aro interior

Había gran desgaste en el camino de rodadura. El desgaste era irregular; se observaban algunos aplanamientos. El camino de rodadura estaba opaco y de color gris (→ **fig. 5a**).

Aro exterior

Había gran desgaste en el camino de rodadura (zona de carga). El desgaste era irregular. Se observaban marcas similares a las causadas por la vibración (ondulación). El camino de rodadura estaba opaco y de color gris (→ **fig. 5b**).

El recubrimiento aislante de las superficies exteriores estaba intacto.

Análisis de fallas

La inspección visual solo reveló un patrón de ondulación irregular, que parecía un fuerte desgaste por vibraciones.

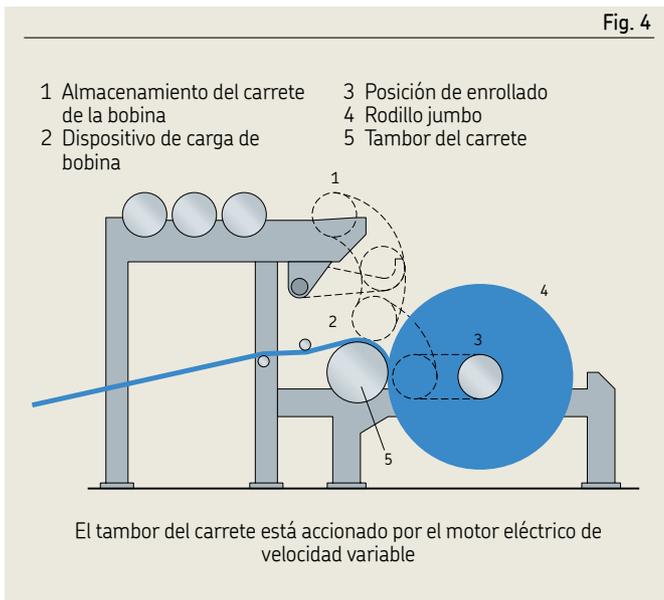
Luego de observar detenidamente los aros dañados, y de conversar con el cliente, surgieron dos causas posibles:

- 1) vibración excesiva
- 2) corriente que pasa a través de los rodamientos

Sin embargo, el cliente confirmó que se utilizaban rodamientos “aislados” y todos los equipos estaban apoyados correctamente sobre almohadillas de caucho nuevas para amortiguar vibraciones.

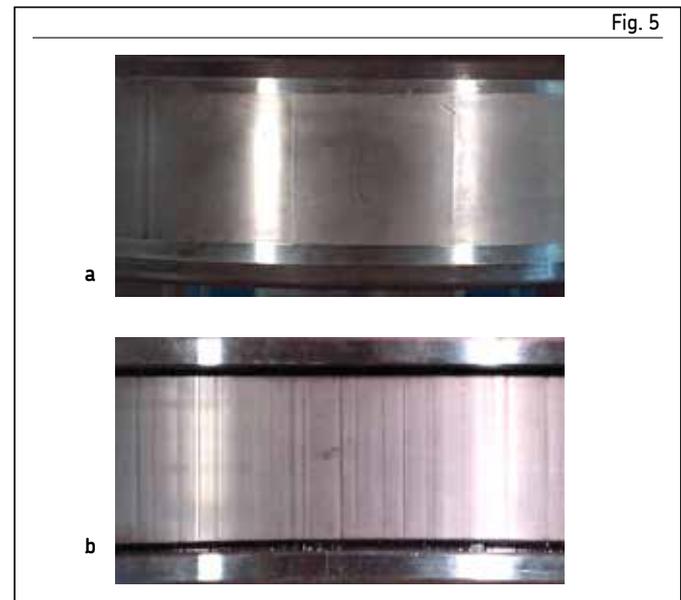
Disposición típica de un rodillo jumbo (carrete de la bobina)

Fig. 4



Fuerte desgaste y marcas de vibración en los caminos de rodadura del aro interior (a) y aro exterior (b) del rodamiento de rodillos cilíndricos

Fig. 5



Cuando se cortó el rodamiento, y se colocó una sección bajo el microscopio, se pudieron obtener algunas conclusiones interesantes:

La superficie del camino de rodadura mostraba microcráteres resultantes del pasaje de corriente eléctrica perjudicial a través del rodamiento (fuga de corriente)

(→ **figs. 6 y 7**).

Esto produjo ondulación. Luego (y en forma continua) se había desgastado gran cantidad de material, y esto había producido el extraño patrón que mostraban los caminos de rodadura de aros interiores y exteriores.

Conclusiones

El modo de falla es, claramente, erosión por fuga de corriente (ISO 5.4.3).

Recomendaciones al cliente

Verificar el sistema eléctrico

Acciones correctivas

Al identificarse la fuga de corriente como la causa raíz del daño de rodamientos, el cliente inspeccionó todo el sistema eléctrico.

La inspección mostró que durante una de las reparaciones del motor, se desconectó el cable de puesta a tierra y no se volvió a conectar.

Una vez que se reconectó el cable de puesta a tierra y se instaló otro juego de rodamientos aislados, no se informaron más problemas.

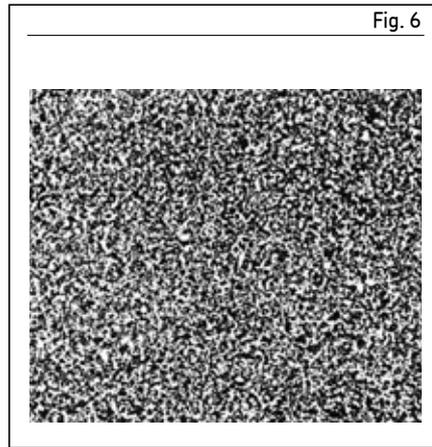


Fig. 6

Superficie del camino de rodadura del aro interior con magnificación de 150 veces que muestra una gran cantidad de microcráteres

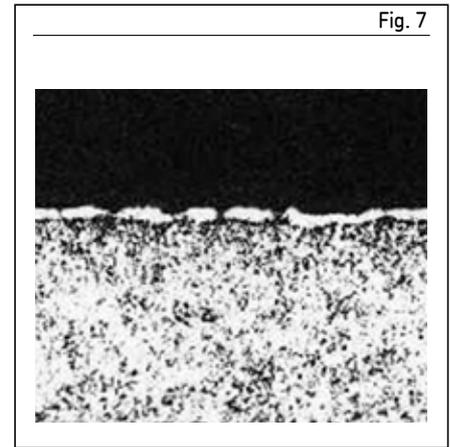


Fig. 7

Sección transversal del aro interior con magnificación de 500 veces

La tira fina y clara de la parte superior (debajo del espacio negro) es la superficie del camino de rodadura. Este es el material que se templó debido al calor desarrollado en el área de contacto. Debajo del área clara hay una tira fina y oscura que se había recocido. La parte inferior es el acero con dureza normal.

Problema en molino de arcilla

Antecedentes

Industria:	Construcción
Aplicación:	Molino de arcilla en una fábrica de ladrillos
Rodamiento:	SKF 24044 CCK/C3W33; rodamiento fijo
Cargas:	Desconocidas, pero relativamente pesadas, con cargas de impacto
Velocidad:	Menor que 100 r. p. m.
Temperatura:	Aprox. 30 °C (85 °F)
Lubricación:	Grasa SKF LGEP 2
Relubricación:	30 g cada 30 horas
Problema:	Falla prematura de rodamientos; 1,5 años de vida útil

Observaciones y descripción del daño de rodamientos

Juego radial

Después de limpiar y antes de desmontar, el juego radial interno del rodamiento era 0,900 mm. Un rodamiento nuevo mide entre 0,250 y 0,320 mm.

Cuando se giró el aro interior, los rodillos cayeron de las cavidades de la jaula.

Aro interior

El agujero no mostraba signos de corrosión por contacto y las caras laterales no estaban dañadas. Las pistas de rodadura mostraban desgaste abrasivo severo. Las jaulas habían cortado una ranura en el borde de ambos caminos de rodadura, lo que indicaba que estaban en contacto con los caminos de rodadura. Los caminos de rodadura estaban opacos y de color gris (→ **fig. 8**).

Había pequeños puntos de corrosión, pero no desplazamiento excesivo.

Algunas marcas transversales (en el paso del rodillo) se originaron al desmontar el rodamiento.

Aro exterior

Los caminos de rodadura mostraban fuerte desgaste abrasivo, y estaban opacos y de color gris (→ **fig. 9**). También se observaron algunas marcas transversales por adherencias (en el paso del rodillo) resultantes del desmontaje.

Se observó corrosión por contacto severa en la superficie exterior (→ **fig. 10**), resultante de los movimientos de deformación del aro bajo carga pesada y de su apoyo irregular.

Las caras laterales del aro exterior también mostraron corrosión por contacto (→ **fig. 11**), lo que confirma aún más la deformación del aro.

Rodillos

Los rodillos estaban opacos y eran de color gris. Se observaban marcas por adherencias resultantes del desmontaje (→ **fig. 12**).

Jaulas

Las cavidades de las jaulas tipo ventana mostraban desgaste abrasivo. Las barras de la jaula estaban considerablemente desgastadas (→ **fig. 13**).

Anillo guía

El anillo guía no mostraba signos de desgaste o daños.

Grasa

La grasa estaba altamente contaminada y decolorada en comparación con grasa nueva.

Aro interior: Fuerte desgaste abrasivo en los caminos de rodadura y ranura circunferencial en ambos bordes de los caminos de rodadura



Fig. 8

Aro exterior: Fuerte desgaste abrasivo en los caminos de rodadura y marcas transversales por adherencias

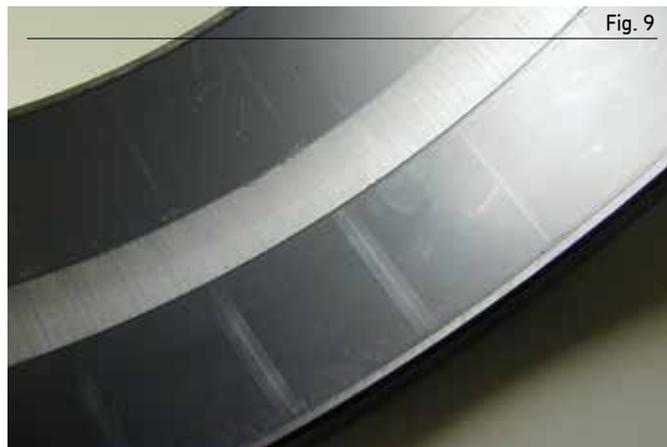


Fig. 9

Análisis de fallas

Había extenso desgaste abrasivo en el rodamiento. El juego de la cavidad de la jaula había aumentado sustancialmente, haciendo que la jaula cayera y creara una ranura en el borde del camino de rodadura.

Estaba claro que existía un problema de lubricación, resultante de la arcilla que ingresaba a la cavidad del rodamiento.

Conclusiones

El modo de falla es claramente el desgaste abrasivo (ISO 5.2.2.).

Recomendaciones al cliente

Mejorar la disposición de sellos para proteger al rodamiento. Se puede hacer:

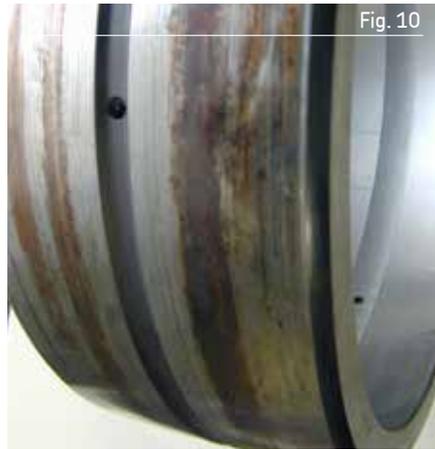
- mediante relubricación diaria
- utilizando rodamientos de rodillos a rótula SKF Explorer sellados
- utilizando un sello laberíntico que permita la relubricación
- reemplazando la solución de sellado actual con sellos Taconite
- instalando un relubricador continuo para la disposición de rodamientos para prolongar la vida del rodamiento

Verificar que no haya bloqueos en las tuberías de lubricación y accesorios engrasadores.

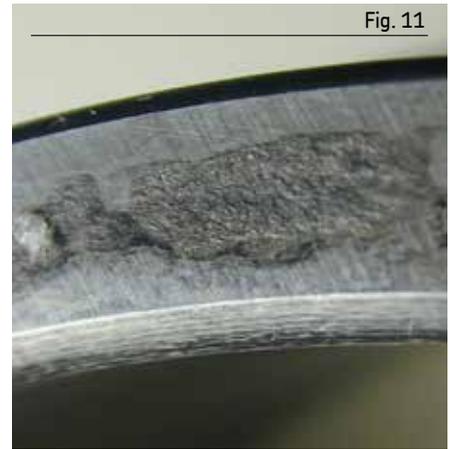
Verificar el asiento del rodamiento en el soporte y repararlo, de ser necesario.

Acciones correctivas

El cliente mejoró la disposición de sellado y redujo los intervalos de lubricación.



Aro exterior: Corrosión por contacto en la superficie exterior



Aro exterior: Corrosión por contacto en la cara lateral

Rodillo: Opaco y de color gris



Jaula: Desgaste de la cavidad



Problema en la trituradora de mandíbula

Antecedentes

Industria:	Minería
Aplicación:	Trituradora de mandíbula (→ figs. 14, 15 y 16)
Rodamientos:	SKF 231/500 CAK/C3W33
Problema:	Falla prematura de rodamientos (rodamiento del eje principal, externo)

El cliente había utilizado solo rodamientos de alta calidad. Los rodamientos del eje principal se reemplazaban cada cinco años.

Después de la última reparación, los rodamientos fallaban a los dos años.

El cliente solicitó a SKF que determinase la causa raíz de las fallas prematuras.

Observaciones y descripción del daño de rodamientos

Aro interior

Había fuerte desgaste abrasivo en los caminos de rodadura (→ fig. 17).

No se observaron otras marcas.

Aro exterior

Había extenso descascarillado en los caminos de rodadura, en un área pequeña de la zona de carga. Había fuertes marcas de vibración en gran parte de la zona de carga (→ fig. 18).

Había fuerte corrosión por contacto en la superficie exterior correspondiente a la zona de carga (→ fig. 19).

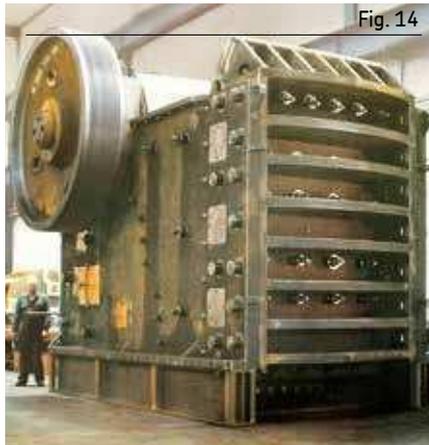
Jaula

Las cavidades de la jaula mostraban desgaste intenso e irregular (→ fig. 20).

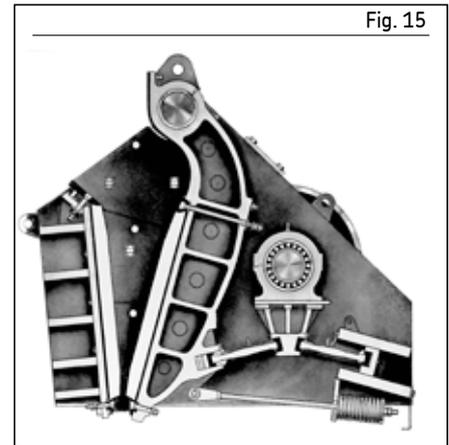
Análisis de fallas

La inspección del rodamiento resaltó dos problemas:

- 1) El aro exterior mostró daños en la misma área de la zona de carga tanto en la superficie exterior (corrosión por contacto) como en los caminos de rodadura (descascarillado), lo que indicaba un problema con el asiento del rodamiento en el soporte. El desgaste abrasivo en los caminos de rodadura del aro interior fue probablemente un daño secundario debido al descascarillado, ya que el estado del lubricante resultó ser inaceptable.



Típica trituradora de mandíbula grande



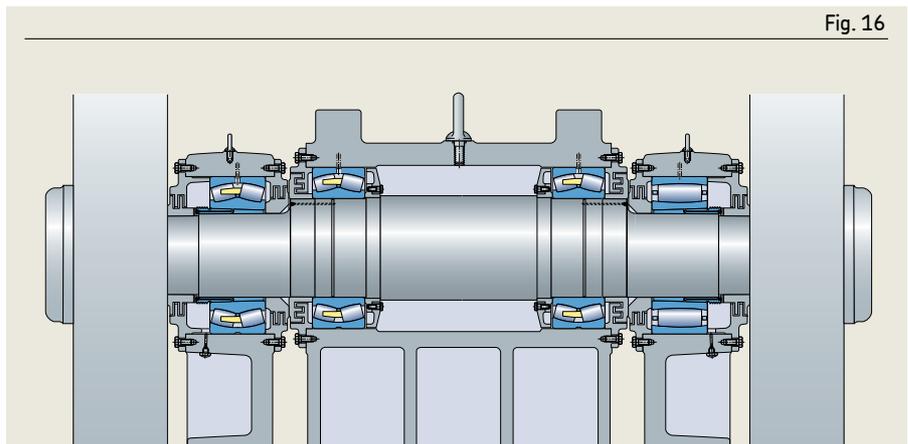
Principio de la trituradora de mandíbula de doble tope

- 2) La ondulación en los caminos de rodadura del aro exterior y el desgaste severo de la jaula indicaron un serio problema de vibración durante el funcionamiento.

Conclusiones

La causa de la falla parecía ser la corrosión por contacto de un asiento de aro exterior dañado (ISO 5.3.3.2).

Disposición de rodamientos en una trituradora de mandíbula típica



Recomendaciones al cliente

- 1) Verificar el asiento del rodamiento en el soporte. Repararlo, de ser necesario.
- 2) Localizar el origen/causa de las vibraciones durante el funcionamiento.

Acciones correctivas

- 1) Una inspección del soporte confirmó que el asiento del rodamiento se había desgastado y ya no proporcionaba el apoyo adecuado en la zona de carga. Esto causó la corrosión por contacto severa en la superficie exterior del aro exterior, y la posterior distorsión de los caminos de rodadura en la zona de carga. La distorsión causaba descascarillado prematuro.
- 2) Una revisión mecánica minuciosa de la aplicación demostró que el material no se descargaba adecuadamente, lo que provocó que la trituradora "se aflojara" y actuara como un compactador. Esto explicaba la excesiva vibración y las pesadas cargas externas que aceleraban la corrosión por contacto y la ondulación en los caminos de rodadura.

Durante una parada programada, se reparó el asiento del rodamiento y se rediseñó el extremo de descarga de la trituradora. Desde las modificaciones, no se han informado más problemas.



Fig. 17

Aro interior: Desgaste abrasivo en los caminos de rodadura



Fig. 18

Aro exterior: Descascarillado en la zona de carga y marcas de vibración en los caminos de rodadura, en la parte inferior del aro



Fig. 19

Aro exterior: Fuerte corrosión por contacto en la zona de carga de la superficie exterior

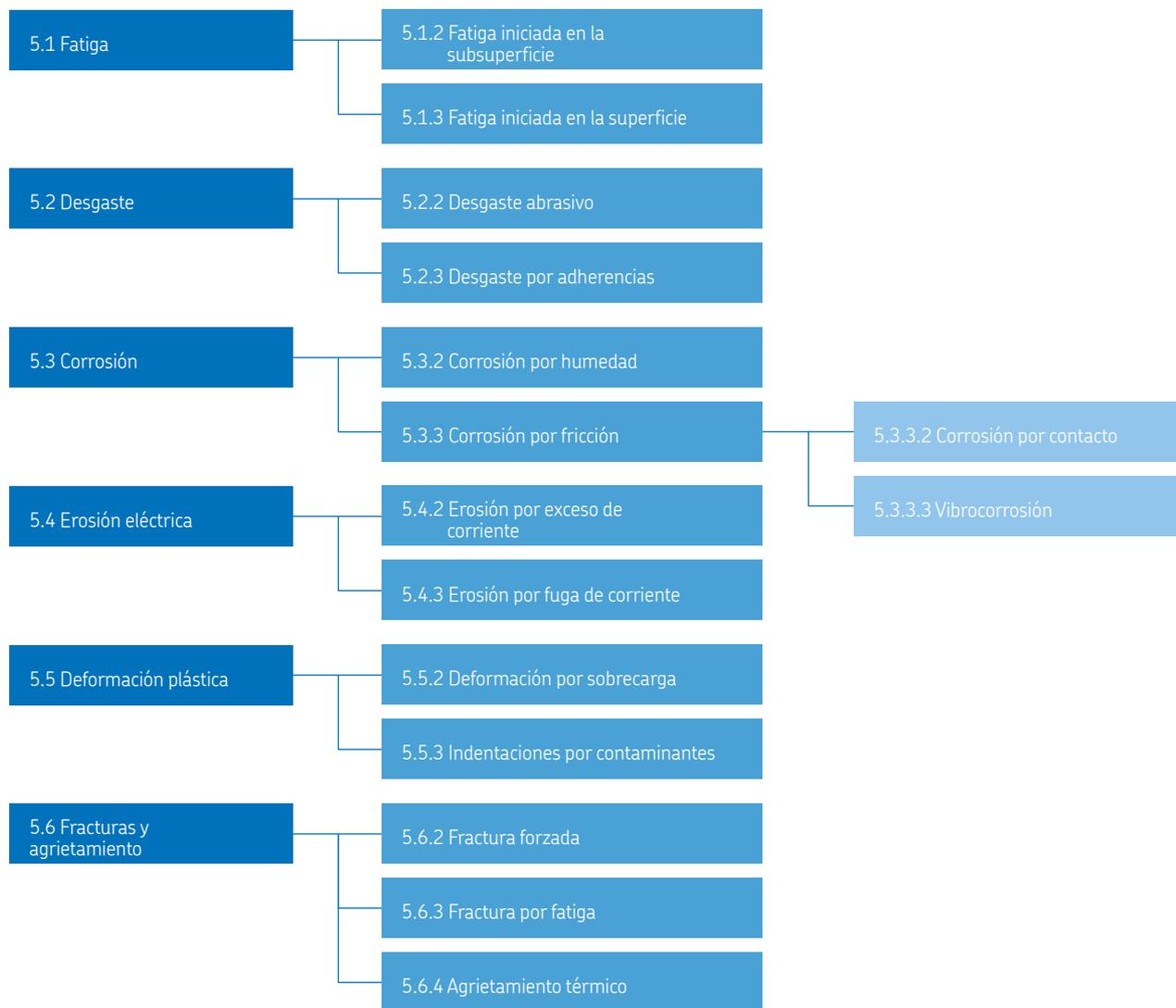


Fig. 20

Jaula: Fuerte desgaste de la cavidad

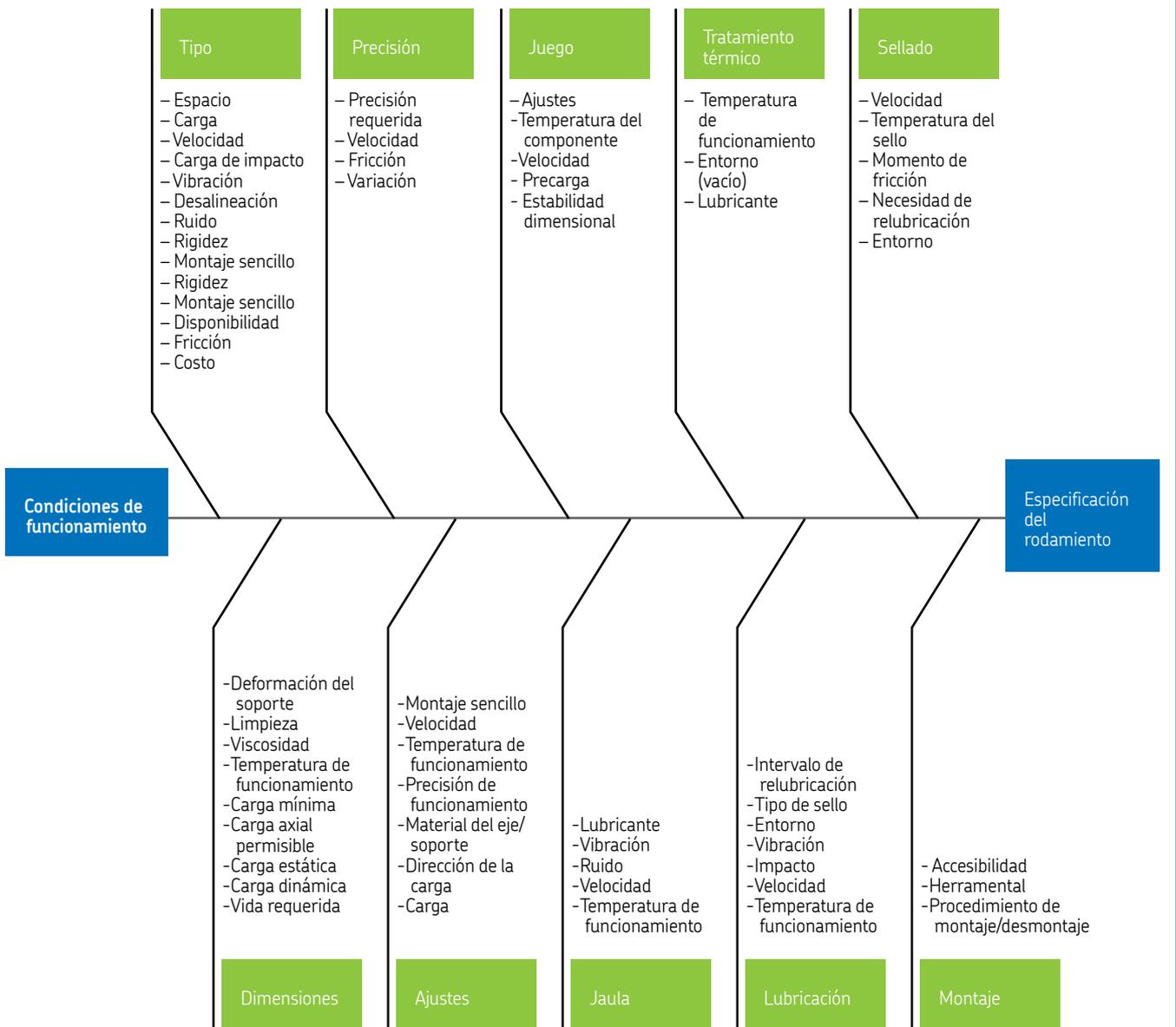
8 Apéndices

Apéndice A: Clasificación SKF adaptada de ISO 15243:2004 ¹⁾



¹⁾ En comparación con la norma ISO 15243: 2004, en el modo de falla 5.5, deformación plástica, los submodos "Deformación por sobrecarga" e "Indentaciones por manipulación" se han fusionado en "Deformación por sobrecarga". El modo de falla 5.4.2 se ha corregido, y se denomina "Erosión por exceso de corriente".

Apéndice B: Factores que influyen en la selección del rodamiento



Apéndice C: Daños y fallas de rodamientos; modos y causas

Qué superficies muestran cambios?	¿Qué clase de cambios?	¿Cuál de los cambios siguientes?	Modos de falla ISO relacionados	
Cualquier superficie, o cualquier componente del rodamiento	Decoloración	Corrosión por humedad	5.3.2	
		Capas y depósitos coloreados	5.2.3 / 5.6.4	
	Fracturas y grietas	Fractura del aro sin otros cambios visibles en el área de fractura	5.6.2	
		Fractura del aro relacionada con marcas por adherencias	5.2.3 / 5.6	
		Fractura del aro relacionada con decoloración por calor	5.2.3 / 5.6	
		Fractura del aro relacionado con quemaduras por rectificado	5.6.3	
		Fractura de aro relacionada con daño mecánico/impactos	5.5.2 / 5.6	
Fractura del aro relacionada con corrosión por contacto o por humedad	5.3.2 / 5.3.3.2 / 5.6			
En superficies específicas	En superficies de contacto	Desgaste por corrosión por contacto	Superficie rojiza Superficie pulida	5.3.3.2 5.2.3
		Cambios solo en la pista de rodadura de aros o elementos rodantes	Daño de la superficie debido al rolado de partículas (indentaciones)	5.5.3
	Daño de la superficie debido a descascarillado		5.1.2 / 5.1.3	
	Desgaste en la superficie		5.2.2	
	Fatiga iniciada en la superficie		5.1.2	
	Daño en la sup, aparición de estrías (brillantes/rojizas/gris opaco en la parte inferior de las estrías)		5.4.3 / 5.3.3.3	
	Daño en la superficie, aparición de muescas, ranuras, descascarillado		5.5.2 / 5.6	
	Marcas de banda circunferencial en elementos rodantes		5.2.2	
	Aspecto brillante, pulido		5.2.2	
	Cambios a distancia regular del paso en parte del camino de rodadura de un aro	Deformaciones plásticas	5.5.2 / 5.6	
		Marcas de vibración durante paradas (distancia de paso del elemento rodante)	5.3.3.3	
		Marcas de rayaduras	5.5.2	
		Marcas de corrosión, corrosión por hendiduras, marcas de decapado	5.3.2	
	Cambios a distancia regular del paso en una parte del camino de rodadura de un aro	Descascarillado (fatiga subsuperficial)	5.1.2	
		Daño de superficie: aparición de marcas de impacto, ranuras, rayaduras e indentaciones	5.5.2	
		Marcas por adherencias en uno o más lugares de la circunferencia irregulares		
		Decoloración local (sobrecalentamiento)	5.2.3	
		Cráteres por pasaje de corriente	5.4.2	
		Corrosión local	5.3.2	
	En jaulas	Fractura de barras de jaula, aros de jaula, remaches	5.6.3 / 5.6.2	
		Desgaste en superficies de guía	5.2.2 / 5.2.3	

Apéndice D: Recopilación de información

Siempre que se producen daños o fallas, es muy importante recopilar y documentar cualquier información relevante para facilitar el análisis de causa raíz subsiguiente.

A continuación se proporciona un resumen de lo que tiene que considerarse

Información general

- Compañía y personas de contacto.
- Equipo; descripción de la aplicación.
- Descripción del problema

Datos de funcionamiento

- Planos y fotografías del equipo, con detalles adecuados para comprender el sistema de rodamientos y la disposición de rodamientos.
- Datos de la aplicación (velocidad, cargas, temperatura, método de lubricación, lubricante utilizado, especificaciones para renovar el lubricante, sistema de transmisión, designación del rodamiento, especificaciones de ajustes de eje y soporte, sellado, vida requerida del rodamiento y tiempo de funcionamiento)

Datos de monitoreo

- Historial del monitoreo de la condición (niveles de vibraciones, lecturas de temperatura y registros de sonidos).
- Historial del análisis de lubricante.

Durante el desmontaje

- Documente todo daño visible en el equipo (pernos flojos, partes de contacto dañadas/desgastadas, incluso sellos y rayaduras).
- Tome muestras de lubricantes del interior del rodamiento y del área circundante. Guarde las muestras en recipientes limpios y etiquételes.
- Marque la ubicación de montaje del aro del rodamiento en el equipo, además de su posición relativa contra el eje/soporte.
- Tome fotografías y redacte notas durante el procedimiento.
- Desmonte el rodamiento con cuidado y documente el método de desmontaje, cuando no se puede evitar el daño.
- Marque las partes del rodamiento.
- Proteja los rodamientos de la suciedad y la humedad, colocándolos en un recipiente adecuado para mayor análisis por los representantes de SKF. ¡No limpie los rodamientos!
- Verifique los asientos del rodamiento. Documente dimensiones y aspecto.



Consejos para tomar buenas fotografías (teléfono inteligente, cámara digital):

- Tome fotografías generales y de detalle (zoom) de las distintas partes y características que se deben documentar.
- No configure su cámara en modo totalmente automático y no use flash. En lo posible, utilice modo manual para controlar la exposición y la sensibilidad del sensor (valores ISO).
- Use modo macro si su cámara lo tiene.
- Configure su cámara según su ISO original. Con frecuencia este es el número ISO más pequeño. Los números ISO más grandes crearán ruido que oculta detalles.
- Utilice un trípode (→ **fig. 1**) y el temporizador automático de la cámara en una zona donde hay varias fuentes de luz, de modo de evitar las sombras.
- Como puede ser que las cámaras no enfoquen correctamente sobre una superficie de acero debido a falta de contraste, coloque una regla (→ **fig. 2**) o lápiz al lado de la zona dañada y enfoque sobre ella. La regla tiene la ventaja de que también indica las dimensiones.
- Después de tomar una fotografía, siempre mírela y ampliela para comprobar que esté en foco.



Apéndice E: Glosario

Este glosario contiene los términos y expresiones más comunes que se utilizan cuando se trata de daño y fallas de rodamientos. Los términos se enumeran en orden alfabético. Donde corresponde, se menciona la referencia a la norma ISO 15243.

abrasión

Proceso de desgaste entre dos superficies de contacto, cargadas y que se mueven una contra otra. El desgaste se debe a partículas duras que se arrastran entre ambas superficies de contacto o a crestas duras en una o ambas superficies. (ISO 5.2.2)

abrillantamiento

→ *bruñido*

acumulación (en bordes)

El material desplazado que sobresale de una superficie alrededor del borde de una indentación. (ISO 5.5.3)

adherencias

→ *desgaste por adherencias*

agarrotamiento

Cuando un rodamiento ya no se puede mover ni girar, lo más común es que esté bloqueado o que los componentes se hayan soldado por fricción.

agrietamiento térmico

Grietas en el aro de un rodamiento resultantes de temperaturas excesivamente altas combinadas con altas tensiones residuales. Las temperaturas excesivas, normalmente, son el resultado del calor por fricción cuando se produce deslizamiento total entre superficies cargadas (ISO 5.6.4)

ajuste apretado

→ *ajuste de interferencia*

ajuste de interferencia (ajuste apretado)

Sujeción entre dos partes comprimidas una sobre otra debido a la fricción en la superficie de contacto.

alisado

La eliminación o aplanamiento de asperezas u otras imperfecciones superficiales, para crear una superficie más lisa.

área oscura por decapado (dark etching area, DEA)

→ *región oscura por decapado*

aspereza

La pequeña cresta (punto elevado) en superficies mecanizadas, medida como rugosidad superficial o perfil superficial.

bruñido (abrillantamiento)

Alisado, deformación plástica acumulativa que conduce al aplanamiento de las asperezas, modificando la superficie fabricada original que varía de una superficie deslizante o rodante a una condición más pulida. (ISO 5.1.3)

carga sobre los bordes

Una carga que se extiende hacia el borde de uno o más elementos rodantes como resultado de desalineación excesiva y/o carga excesiva.

contaminante

Partícula sólida o líquida que penetra en el entorno del rodamiento y afecta adversamente su desempeño.

corrosión

Una capa de óxido resultante de una reacción química con una superficie de metal. (ISO 5.3)

corrosión por contacto

Un tipo de daño en el que el micromovimiento entre dos componentes de contacto causa restos microscópicos que se oxidarán instantáneamente, dejando una decoloración de la superficie de color rojo negruzco. (ISO 5.3.3.2)

corrosión por frotamiento

Un tipo de desgaste por adherencias. La soldadura superficial local provoca que se arranque material de una de las superficies dejando en ella grandes cavidades. (ISO 5.2.3)

corrosión por humedad

La reacción química que ocurre cuando el agua u otro químico se condensa en una superficie de metal, permitiéndole interactuar con el oxígeno (oxidación). (ISO 5.3.3)

cráter

Picaduras macroscópicas, que parecen cráteres, que se producen en los caminos de rodadura y elementos rodantes cuando pasa corriente eléctrica perjudicial a través de un rodamiento. (ISO 5.4)

daño

Todo cambio a un componente que deteriora su funcionalidad.

decapado

Un proceso que utiliza químicos para revelar la estructura de un metal.

defecto

Falla del material o del producto debido al proceso de fabricación o de montaje de un rodamiento o de sus componentes.

deformación

Cambios en la forma normal de un objeto. El resultado puede ser deformación permanente (deformación plástica) o temporal (deformación elástica).

deformación elástica

Un cambio forzado en la forma de un componente que no causa tensión más allá de su límite elástico. El componente retorna a su forma original cuando se elimina la fuerza que lo deforma.

deformación plástica

La deformación permanente de una forma que no implica la eliminación del material. Este tipo de daño ocurre cuando una carga excede el límite de elasticidad del material. (ISO 5.5)

deformación superficial

→ *fatiga iniciada en la superficie*

descascarillado (escamado)

La pérdida de pequeñas astillas de material como resultado de fatiga (iniciada en la subsuperficie o en la superficie). (ISO 5.1)

desgaste

La eliminación gradual de material de una superficie. (ISO 5.2)

desgaste abrasivo

Eliminación gradual del material de una superficie o superficies debido a abrasión. (ISO 5.2.2)

desgaste por adherencias (adherencias)

El daño que ocurre cuando dos superficies que no están adecuadamente lubricadas se deslizan una contra otra bajo carga. Las adherencias causan que una superficie se transfiera a la otra, y dejan un aspecto "de desgarrado". (ISO 5.2.3)

desgaste por pulido

Una forma extremadamente moderada de desgaste abrasivo que resulta en una superficie muy pulida y reflectante. (ISO 5.2.2)

deslizamiento

Un tipo de desgaste por adherencias. El movimiento de deslizamiento de un elemento rodante en un camino de rodadura durante el funcionamiento, bajo carga, dando como resultado daños en la superficie, con aspecto de astillas escarchadas.

envejecimiento de la jaula

La pérdida de las propiedades mecánicas que se produce con el tiempo en las jaulas de polímeros. Las temperaturas más altas o los lubricantes agresivos pueden causar envejecimiento acelerado. También, las jaulas de bronce estampadas pueden envejecer en forma prematura cuando se exponen al amoníaco.

erosión

La pérdida gradual de material resultante de la interacción mecánica entre una superficie sólida y los contaminantes.

erosión eléctrica

Macro o microcráteres causados por la fusión local, cuando niveles elevados de corriente eléctrica perjudicial pasan a través de los contactos rodantes de un rodamiento. (ISO 5.4)

erosión por exceso de corriente

Grandes cráteres en los caminos de rodadura y elementos rodantes, posiblemente acompañados por lubricante decolorado o quemado por sobrecalentamiento local. (ISO 5.4.2)

erosión por fuga de corriente

Daño en las superficies de contacto rodante causado por el pasaje de corriente eléctrica. (ISO 5.4.3)

escamado

→ *descascarillado*

escarchado

El aspecto opaco y deslustrado del camino de rodadura de un rodamiento que resulta de la lubricación inadecuada. El desgaste se caracteriza por finas astillas de metal arrancadas del camino de rodadura. (ISO 5.1.3)

estriado

→ *ondulación*

estriado paralelo

→ *ondulación*

falla

Defecto o daño que impide que un rodamiento cumpla su uso previsto.

fatiga

El debilitamiento (cambios en la estructura metálica) del elemento rodante y/o de las superficies de contacto del camino de rodadura en un rodamiento, causado por la acumulación de tensiones o imperfecciones del material.

fatiga iniciada en la superficie (deformación superficial).

El daño resultante de la lubricación inadecuada en términos de espesor de la película y/o limpieza del lubricante, que conduce a contacto metal-metal, y eventualmente a microgrietas o microdescascarillado en la superficie. (ISO 5.1.3)

fatiga iniciada en la subsuperficie

Descascarillado de la superficie de un camino de rodadura como resultado de grietas subsuperficiales que se propagan a la superficie (ISO 5.1.2)

fatiga por contacto rodante

Fatiga iniciada en la superficie o en la subsuperficie, que ocurre en un rodamiento de rodillos debido a ciclos repetitivos de tensión durante el funcionamiento. (ISO 5.1)

fractura

Propagación de una grieta hasta la separación completa. (ISO 5.6)

fractura forzada

Una fractura resultante de una concentración de tensión que excede la resistencia a la rotura del material. (ISO 5.6.2)

fractura por fatiga

La rotura de un aro de rodamiento u otro componente como resultado de la propagación de una grieta iniciada por fatiga. (ISO 5.6.3)

fragmento

Una pequeña parte que se ha desprendido o separado de un objeto más grande.

fricción

La fuerza resistiva que se encuentra cuando un objeto se mueve en relación con otro con el que está en contacto cargado.

giro (creep)

La rotación relativa entre el aro de un rodamiento y su asiento, en el eje o en el soporte.

grieta

Discontinuidad dentro de la masa de material sin separación completa, resultante de tensiones del material. Ver también microgrieta y grieta por rectificado. (ISO 5.6)

grieta por rectificado

Grieta causada por el calor y el rápido enfriamiento local durante el rectificado.

halo

Un pequeño círculo, de color más claro que el área circundante.

inclusión

Cuerpo de material extraño imprevisto, incluido en un material matricial. Vea también macroinclusión.

indentación (muesca)

Daño causado por la impresión de un componente sólido en una superficie, en forma de *deformación (plástica)* permanente. Se observa en los rodamientos de rodillos como muescas en los caminos de rodadura debido al rolado de *contaminantes sólidos* o restos de fallas. Las indentaciones pueden ser afiladas (de partículas metálicas), redondeadas (de restos blandos) o fragmentos múltiples (de restos frágiles). Es probable que el acabado original de la superficie se vea en la parte inferior de la indentación y que el material desplazado forme un borde elevado alrededor de la indentación (acumulación). (ISO 5.5.3)

macroinclusión

Una impureza o partícula, por lo general una inclusión de escoria formada ya sea por oxidación local o por atrapamiento de partículas del revestimiento refractario durante el vaciado del acero; y que se puede ver en una superficie pulida y decapada, en una magnificación de diez veces o menos o mediante pruebas ultrasónicas.

marca por vibración

Marca acanalada en un camino de rodadura que resulta cuando hay una película de lubricante inadecuada y los rodamientos están sometidos a vibración.

mariposa

Un "aspecto" típico que semeja las alas de una mariposa, cuando se decapa una estructura material por inclusiones de (óxido).

mella

Depresión plástica, causada por la impresión (estática o por impacto) de un objeto duro, posiblemente cortante, en la superficie de un componente de contacto.

mellado

Un tipo de fatiga iniciada en la superficie que se produce como resultado de la lubricación inadecuada. El daño aparece como si se hubiera quitado una fina tajada de metal. (ISO 5.1.3)

microdescascarillado

Descascarillado microscópico de las asperezas en las superficies de contacto.

microdeslizamiento (microdeslizamiento de contacto) (microdeslizamiento)

El deslizamiento parcial entre las superficies de contacto en rodamientos de rodillos debido a efectos de la geometría.

microdeslizamiento de contacto

→ *microdeslizamiento*

microgrieta

Grietas microscópicas que pueden ocurrir en la superficie de un componente del rodamiento o debajo de ella.

muesca

→ *indentación*

muecas permanentes

→ *sobrecarga*

ondulación (estriado, estriado paralelo)

Estrías que se desarrollan después de que se forman cráteres por fuga de corriente eléctrica. Este tipo de daño se encuentra en los caminos de rodadura de rodamientos de bolas y de rodillos, en los rodillos pero no en las bolas. Las estrías son paralelas al eje de rodadura y, por lo general, están equidistantes. (ISO 5.4.3)

ovalización

Apretar diametralmente un aro de rodamiento, lo que hace que el aro se ovalice.

patrón de pista

Cambio en el aspecto de parte de un área del rodamiento, debido al contacto con otra parte del rodamiento; p. ej., elementos rodantes y un camino de rodadura.

picaduras

Término genérico utilizado para describir un tipo de daño local que se observa como pequeños agujeros, cráteres o cavidades. Las causas de las picaduras incluyen fatiga iniciada en la superficie, corrosión, erosión eléctrica, indentaciones por restos.

picaduras eléctricas

Microcráteres resultantes del pasaje de niveles bajos de corriente eléctrica perjudicial a través de los contactos rodantes de un rodamiento. (ISO 5.4)

quemaduras por rectificado

Modificación (revenido, *templado*) de la estructura cercana a la superficie debido

al excesivo calor por fricción cuando se rectifica. Visible en la superficie después del decapado

rayaduras (scoring, ploughing, scratching)

Las rayaduras (formación de ranuras) de un aro o elemento rodante de un rodamiento debido a la incrustación de restos duros en componentes más blandos, como jaulas, que luego se desplazan contra un rodillo o camino de rodadura a medida que el rodamiento funciona, o al raspado de componentes del rodamiento uno sobre otro durante el montaje. (ISO 5.5.2)

región oscura por decapado (dark etching region, DER)

La región oscura por decapado es un área debajo de la superficie donde las tensiones acumuladas dan como resultado cambios en la estructura metálica, que se torna oscura cuando se decapa el material. (ISO 5.1.2)

rodaje

El proceso inicial de un nuevo rodamiento o aplicación para estabilizar la fricción y el calor por fricción.

rozaduras

Tipo de desgaste por adherencias, daño local causado por la soldadura en fase sólida entre superficies deslizantes, sin fusión local de superficies. (ISO 5.2.3)

sobrecarga (muecas permanentes)

Grupos permanentes de indentaciones en los caminos de rodadura en el paso del elemento rodante, cuando se excede el límite de carga estática del material bajo carga. Las indentaciones reflejan la forma del elemento rodante y están rodeadas por una acumulación de material desplazado. (ISO 5.5.2)

superficie opaca

Superficie no reflectante que resulta del *desgaste abrasivo* (ISO 5.2.2)

surco

Una rayadura larga y profunda en la superficie de un camino de rodadura. (ISO 5.5.2)

templado

El cambio que se produce en el metal cuando el calentamiento local alcanza o excede la temperatura a la que se forma



8 Apéndices

la austenita, y luego se enfría rápidamente.

tensión de contacto (tensión de contacto hertziano)

Tensión en la superficie cuando dos cuerpos sólidos entran en contacto bajo una cierta carga.

tensión de contacto hertziano

→ *tensión de contacto*

tensión residual

Las tensiones que permanecen en un componente luego de que se hayan eliminado las causas originales de la tensión (fabricación, cargas, temperatura).

vibrocorrosión

Depresiones permanentes en el paso del elemento rodante en caminos de rodadura, causadas por el micromovimiento inducido por vibración de los elementos rodantes, mientras el rodamiento está estático. El aspecto puede ser similar a sobrecarga (muescas permanentes), pero no habrá acumulación alrededor de las depresiones. (ISO 5.3.3.3)

skf.com | skf.com/mining

© SKF, CARB, INSOCOAT y SENSORMOUNT son marcas registradas del Grupo SKF.

™ SKF Explorer es una marca comercial del Grupo SKF.

© Grupo SKF 2017

El contenido de esta publicación es propiedad de los editores y no puede reproducirse (incluso parcialmente) sin autorización previa por escrito. Se ha tomado el máximo cuidado para asegurar la exactitud de la información contenida en esta publicación, pero no se acepta ninguna responsabilidad por pérdidas o daños, ya sean directos, indirectos o consecuentes, que se produzcan como resultado del uso de dicha información.

PUB BU/I3 17186 ES · Febrero 2017

Esta publicación reemplaza a la publicación PI 401 E.

Algunas imágenes se utilizan bajo licencia de Shutterstock.com