



Información digital vs. información impresa

El año pasado, me enviaron por correo electrónico un dibujo detallado de un rodillo aspirante. El problema es que tengo un monitor de computadora de 24 pulgadas y, si visualizaba toda la imagen, no podía distinguir ningún detalle. Esto hizo que perdiera mucho tiempo acercando y alejando el zoom en diferentes partes del dibujo.

Dos meses más tarde, recibí una copia del dibujo de 1 m por 4 m, enrollada en un tubo de cartón. La colgué en la pared de mi oficina y rápidamente llegué a la conclusión de que había un error de diseño o un error de dibujo. Era algo que se me había pasado al mirarlo en el monitor.

Con el dibujo en mi pared, pude analizar la disposición de rodamientos con mis colegas y hacer algunas modificaciones rápidas con lápiz. Esta no fue la primera y, sin duda, no será la última vez que sienta nostalgia por las épocas de las mesas de dibujo y los dibujos en papel. Tal vez, algún día pueda tener un gran monitor de tamaño A0 con buena resolución, pero no veo que sea tan ligero y portátil como un trozo de papel del mismo tamaño.

Hace dos semanas, me fui de excursión todoterreno. En el pasado, hubiera utilizado un mapa de papel de escala 1:25 000 y una brújula o confiado en el GPS. Esta vez cometí el error de solo llevar mi teléfono inteligente y una aplicación con un mapa de escala 1:25 000 instalado. Como probablemente ya habrá adivina-

do, solo pude ver los detalles de una parte muy pequeña del mapa. Se puede imaginar la cantidad de tiempo que perdí acercando y alejando el zoom para comprobar el sitio donde quería ir y cómo llegar hasta allí. En retrospectiva, hubiera sido mucho mejor confiar en mi método habitual, que es un mapa de papel, para tener un panorama general, y un GPS como herramienta principal para conocer las direcciones durante la conducción.

Algunos de mis colegas sostienen que un dispositivo electrónico le permite viajar con más catálogos, folletos y documentos técnicos que los que realmente podría llevar. Esto es cierto y, de hecho, utilizo mi teléfono inteligente y computadoras portátiles cuando visito a los clientes para buscar información en el Catálogo de rodamientos SKF, por ejemplo. Sin embargo, siempre utilizo copias en papel cuando estoy en la oficina, ya que es mucho más fácil dar vuelta la página y no necesito utilizar constantemente el zoom. Para mí, la información digital es un complemento, más que un reemplazo de productos de papel.

*Atentamente,
Philippe Gachet
Consultor técnico sénior
Segmento Global Celulosa y Papel SKF*



Cumplir las promesas y responder las preguntas

En esta edición de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel*, abordaré una serie de temas diferentes:

- 1 Si existe un método para asegurarse de que el contacto entre el eje y el rodamiento es correcto al comprobar el asiento con azul de Prusia.
- 2 La cantidad de mediciones de diámetro necesarias para comprobar la ovalidad.
- 3 Los valores de T_m para rodamientos de alta precisión con variación radial, p. ej., las versiones SKF C08, VQ424 y VA460.
- 4 Diferencias en los gráficos de sectores de fallas de los rodamientos.

1. Cuando se comprueba un asiento de rodamiento con azul de Prusia, ¿es correcto el contacto entre el eje y el rodamiento?

Después de la publicación de la edición 13 de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel*, un fabricante de equipos me hizo una pregunta. Quería saber si existe una manera confiable y precisa de garantizar que un rodamiento tiene un contacto profundo con su asiento. Se

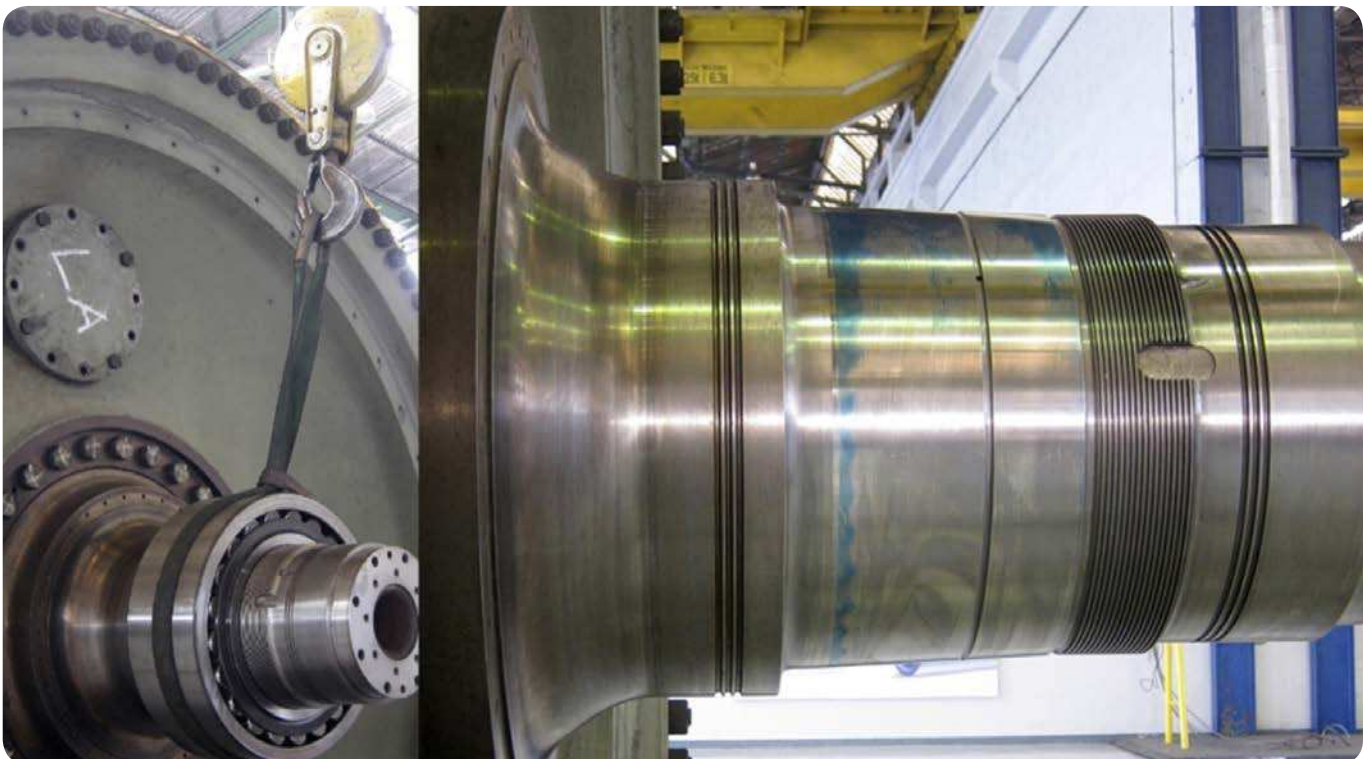
refería a los rodamientos pesados, que necesitan una grúa para levantarlos. Un ejemplo típico sería un rodamiento de cilindro Yankee (→ figura 1).

Como puede ver, el rodamiento está suspendido de una grúa mediante una correa de longitud fija. Si tuviera que empujar este rodamiento sin mover la grúa a la misma velocidad, el rodamiento se movería hacia arriba. Un operario de mantenimiento no podría colocar este rodamiento en su posición golpeándolo. Si se colocara en su posición a mano, quedaría apoyado sobre la parte superior del eje. Por esta razón, puede verse la mayor parte del azul de Prusia en la parte superior.

Enumeraré mis recomendaciones sobre qué hacer en estos casos en la edición 13. Entre ellas, estaban la utilización de un muelle en la correa de la grúa y la utilización del método de la tuerca y el martillo para asegurar un buen contacto sin demasiado calado.

El fabricante del equipo quería saber si existía un enfoque mejor y menos subjetivo que mi método de la tuerca y el martillo, y que no requiriera instaladores experimentados. Tal vez, uno que dependiera de la presión hidráulica o de la aplicación de un par de apriete a una tuerca de seguridad. Prometí darle una respuesta en la edición 15 de *Prácticas SKF*, y una promesa es una promesa.

Fig. 1 Comprobación de un deficiente contacto entre el rodamiento y el eje con azul de Prusia



Rápidamente descarté la idea del par de apriete en una tuerca, ya que no es suficientemente preciso. La posibilidad de variación en función de la fricción en la rosca, y entre la tuerca y el aro interior del rodamiento, además de la limpieza y el estado de la rosca, es demasiado grande. Además, como de todos modos no se puede utilizar una llave dinamométrica sencilla en una tuerca de 500 mm o mayor, decidí olvidar esa opción.

Luego, realicé algunas investigaciones en los archivos porque este es un tema similar al de determinar la posición antes del calado axial utilizando los valores de calado axial citados en los catálogos de rodamientos. El Catálogo *de rodamientos* SKF establece claramente que las tablas de datos de calado deben utilizarse solamente como una guía, ya que es difícil establecer la posición inicial exacta. No obtuve resultados con mi investigación.

Tenga en cuenta que el método de calado de rodamientos SKF Drive-up ofrece una posición inicial con cierta reducción del juego. No es la misma posición inicial para valores de calado axial que aparece en el Catálogo *de rodamientos* SKF, en el que no hay reducción

del juego, simplemente la posición antes de la reducción del juego. Por lo tanto, no es adecuado utilizar la presión del aceite inyectado en una tuerca hidráulica del método de calado de rodamientos SKF Drive-up para la comprobación del azul de Prusia. Tampoco ayuda la dificultad para determinar la posición inicial a partir del método antiguo, porque el rodamiento ya se ha deformado para tomar la forma del eje, y no queremos que suceda esto en una comprobación con azul de Prusia. Para un breve resumen sobre las diferentes posiciones, véase la **tabla 1**.

La pregunta es, ¿cuánta presión es necesaria en la tuerca hidráulica para sujetar el rodamiento en posición con contacto circunferencial, pero sin forzarlo a tomar la forma de su asiento? Como la comprobación con azul de Prusia sería correcta si el eje estuviera en posición vertical y el rodamiento descansando sobre su propio peso, calculé la presión necesaria para empujar un rodamiento con una carga axial igual a su peso, para compensar la carga axial debido al ángulo cónico que empuja el rodamiento hacia el eje cónico y para superar la fricción entre el rodamiento y el eje.

Definiciones de las posiciones del rodamiento según se indica en este artículo

- a Posición del rodamiento para la comprobación con azul de Prusia**
El rodamiento debe apoyarse sobre el eje como si estuviera apoyado en el eje en posición vertical. Con su eje en posición vertical, los aros del rodamiento no se deformarán bajo su propio peso y serán concéntricos con el eje. En teoría, el rodamiento solo debe tocar el eje como si el agujero del rodamiento y el asiento del eje cónico fueran conos perfectos con el mismo ángulo y con el 100% de las superficies en contacto. Cualquier desplazamiento adicional del rodamiento, por ejemplo, debido a su propio peso, podría hacer que el rodamiento empezara a tomar la forma del eje si no es un cono perfecto. En la práctica, debido a las tolerancias de fabricación, debe aceptarse un ligero desplazamiento adicional, pero ¿hasta qué valor?
- b Posición inicial en el método de calado axial**
La posición justo antes de que el aro interior del rodamiento se expanda radialmente.
- c Posición inicial en el método de calado de rodamientos SKF Drive-up**
La posición en la que el aro interior del rodamiento ya se ha expandido radialmente con una reducción del juego radial de 0,00009 veces el diámetro del agujero del rodamiento.

Nótese que la distancia entre la posición **a** y **b** o **a** y **c** depende de la forma real del agujero del rodamiento y el asiento cónico en el eje.

Tabla 1

Sabía que los valores de presión serían más pequeños que los utilizados para encontrar la posición inicial, pero son más pequeños de lo que esperaba:

- 0,03 MPa para un 22320, que es un rodamiento de 13,5 kg
- 0,08 MPa para un 23176, que es un rodamiento de 230 kg
- 0,30 MPa para un 241/900, que es un rodamiento de 3 350 kg

Uno de los problemas es que los manómetros utilizados para los métodos de calado de rodamientos SKF Drive-up y de inyección de aceite SKF no son muy precisos en valores tan pequeños como 0,03 MPa (el manómetro digital SKF THGD 100, por ejemplo, tiene una precisión de $\pm 0,1$ MPa) y que los manómetros adecuados no podrían soportar las presiones que entregarían las bombas utilizadas.

A continuación, probé el enfoque práctico con un rodamiento EK 22320. Primero, coloqué el rodamiento en su asiento cónico golpeándolo y utilicé un micrómetro fijado en cero como referencia (\rightarrow **figura 2**). Esta es la posición correcta para el método del azul de Prusia para un rodamiento de este tamaño, que se puede retirar fácilmente a mano. Luego, coloqué el rodamiento en posición con el método de la tuerca y el martillo más el sonido (\rightarrow **figura 3**). El rodamiento se calentó más y tuve que martillar suavemente para desmontarlo, pero la distancia era inferior a 0,08 mm incluso después de tres intentos. Finalmente, utilicé una tuerca hidráulica para colocar el rodamiento (\rightarrow **figura 4**). La idea era medir la presión del aceite cuando el rodamiento estaba en la posición del golpe y, luego, nuevamente en la posición del sonido, y observar la posición del rodamiento con la presión calculada.

El resultado con la tuerca hidráulica fue que la presión necesaria era superior a la presión calculada, incluso antes de que el rodamiento alcanzara la posición del golpe. La razón principal, que no había tenido en cuenta, era la fricción de los sellos del pistón de la tuerca hidráulica.

También pude notar que la presión era prácticamente constante antes y al pasar por la posición del golpe, y al pasar por la posición del sonido. La presión aumenta rápidamente a medida que el aro interior del rodamiento comienza a tomar la forma del eje después de alcanzar una posición de aproximadamente 0,2–0,3 mm más allá de la posición del golpe. La posición inicial del método de calado de rodamientos SKF Drive-up con 4,1 MPa no se alcanza nunca en el rango del micrómetro.

Un hallazgo adicional fue que la curva presión/posición no es constante. La prueba tiene baja repetibilidad. La variación de la presión fue superior al 50% de la presión calculada.

La conclusión, en mi opinión, es que el método del sonido es más confiable que el método de la tuerca hidráulica. No creo que valga la pena continuar y tratar de conocer el rango de presión en el que los errores de forma del asiento son todavía evidentes. Hay muchas consideraciones que se deben tener en cuenta. Por lo tanto, si es necesario un método menos subjetivo, entonces creo que una inspección 3D con un dispositivo de medición de coordenadas portátil es la manera de hacerlo.

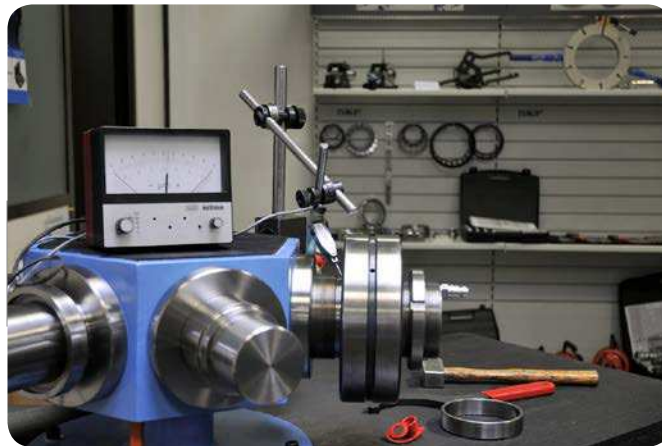


Fig. 2 Posición del rodamiento después de colocarlo en su lugar golpeándolo

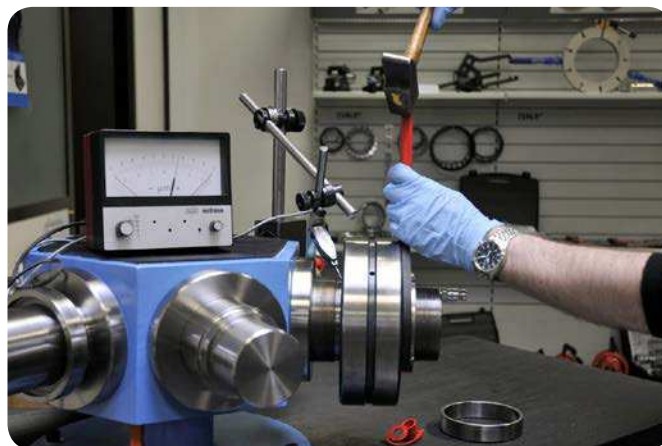


Fig. 3 Posición del rodamiento con el método de la tuerca y el martillo más el sonido una vez que el sonido se vuelve más metálico

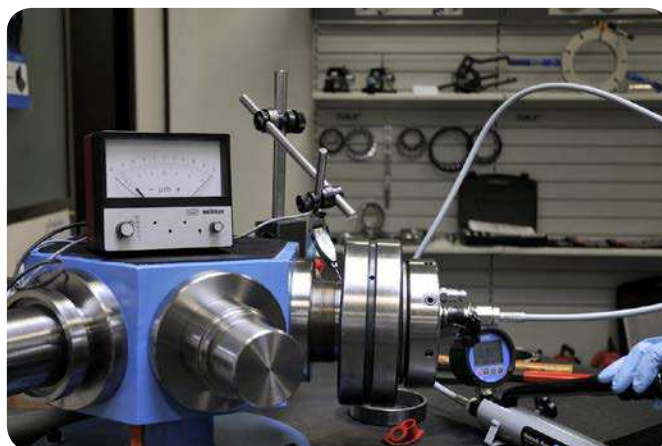


Fig. 4 Prueba final con una tuerca hidráulica

2. La cantidad de mediciones de diámetro necesarias para comprobar la ovalidad

Joe B Conyers de SKF USA envió un correo electrónico después de leer la edición 13 de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel* para decirme que tomar tres mediciones alrededor del eje no era suficiente para comprobar la redondez, pero que cuatro mediciones deberían ser suficientes.

Joe tenía razón. Independientemente de lo que ocurra algunas veces en el terreno, cuatro mediciones deben ser el mínimo para poder considerarlo una buena práctica (→ **figura 5**).

Aunque tomar más mediciones conduce a una imagen más clara de los errores de forma, es necesario encontrar un equilibrio entre precisión y practicidad. Mientras pensaba en esto, me preguntaba cuántos problemas de rodamientos y máquinas se debían a errores de forma y no se descubrían durante la medición. Revisé nuestros archivos y no encontré ni un solo caso. Esto, por supuesto, no significa que no existan.

El tiempo que pasé revisando los archivos resultó útil, porque pude ver algunas cosas. Pude ver que la mayoría de los informes tenían cuatro mediciones del diámetro, pero algunos tenían solo tres. También me percaté de que, en algunos informes, los valores del diámetro se aproximaban al máximo de la tolerancia, o estaban fuera de esta. Lamentablemente, no se había indicado ni el tipo ni la clase de precisión de las herramientas utilizadas.

Volviendo a la buena práctica, creo que debe indicarse y documentarse el sentido de la carga, ya que la redondez del asiento del rodamiento puede aumentar o disminuir la carga sobre el elemento rodante con la carga más elevada y, en consecuencia, afectar la vida a fatiga del rodamiento. Por lo tanto, tener una cilindridad/redondez del asiento del rodamiento que esté fuera de tolerancia no siempre es malo.

En los casos en los que el sentido de la carga es fijo en relación con el asiento del rodamiento, se debe tomar al menos una medición en el sentido de la carga.

En la **tabla 2**, se muestra un ejemplo de un formulario de informe de mediciones para un asiento de rodamiento cilíndrico. Tenga en cuenta que está diseñado para un solo asiento de rodamiento, así que simplemente tache el dibujo que no es aplicable. Tenga en

cuenta también que, algunas industrias, como la siderúrgica, utilizan rodamientos con cuatro hileras de elementos rodantes, y las mediciones pueden tomarse en más de dos planos radiales.

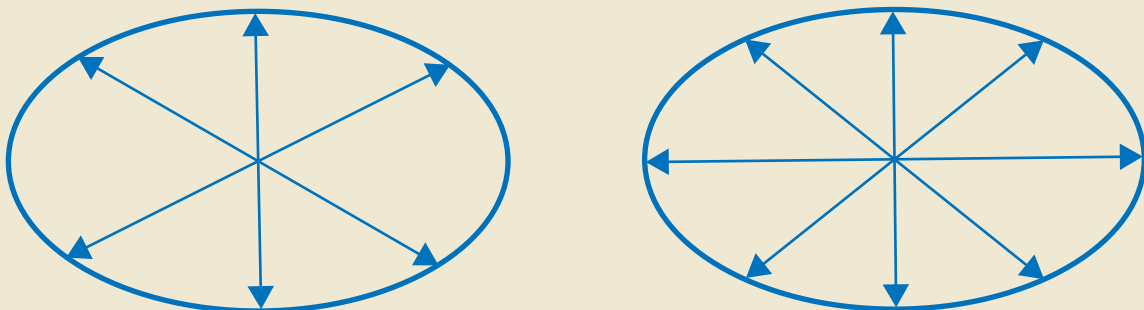
La **tabla 3** es un ejemplo de un informe de mediciones cuando se utiliza el calibre para conos SKF 9205.

3. Valores de T_m para rodamientos de alta precisión con variación radial

Después de publicarse la edición 14 de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel*, me preguntaron acerca de los valores de T_m para los rodamientos con sufijos C08, VQ424 y VA460, es decir, rodamientos con tolerancias de variación radial reducida. La razón era que, en esa edición, se establecía que los valores enumerados en la **tabla 1** eran solamente para rodamientos SKF de precisión normal.

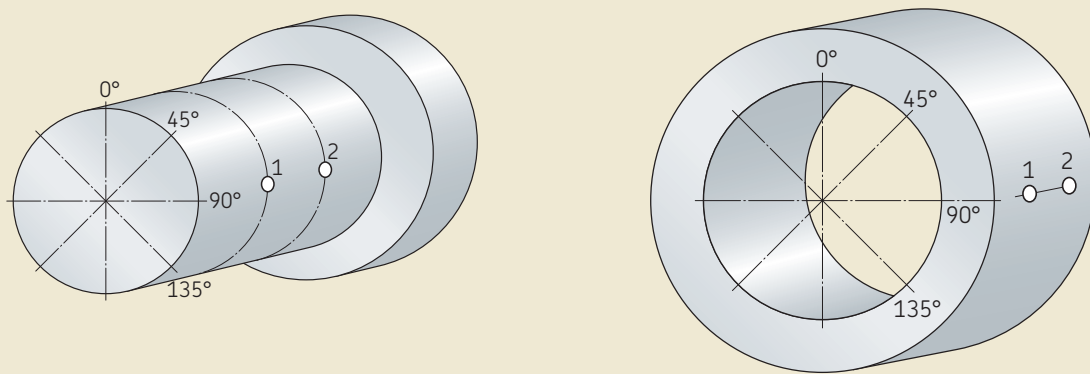
La respuesta es que el agujero de estos rodamientos se fabrica con la precisión normal que se muestra en el Catálogo de rodamientos SKF, a menos que se indique lo contrario mediante un sufijo adicional. Por lo tanto, en la mayoría de los casos, simplemente utilice los valores indicados en la edición 14 de *Prácticas SKF para Celulosa y Papel*.

Fig. 5 Aumentar el número de mediciones del diámetro aumenta la posibilidad de obtener mediciones próximas al diámetro mínimo y máximo



Máquina	
Aplicación y posición	
Designación del rodamiento	
Tipo de herramienta de medición	
Clase de precisión o exactitud	
Barra estándar para fijar a cero	Tipo:
Último control de barra estándar	Fecha:

Dibujar el sentido de la carga



Diámetro nominal:	mm:		Tolerancia en el diámetro:			
			Tolerancia en la cilindridad:			
Todos los valores en mm	0	45°	90°	135°	Desviación	Desviación total
Plano 1						
Plano 2						

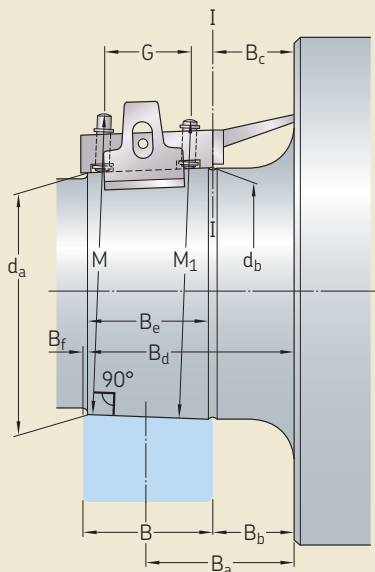
Comentarios sobre la rectitud:

Comentarios:

Fecha: Nombre:

Tabla 2 Formulario de informe de mediciones para un asiento de rodamiento cilíndrico

Máquina	
Aplicación y posición	
Designación del rodamiento	
Tipo de herramienta de medición	
Clase de precisión o exactitud	
Barra estándar para fijar a cero	Tipo:
Último control de barra estándar	Fecha:



$B =$
 $B_c =$
 $B_e =$
 $B_a =$
 $B_f =$
 $G =$
 Calibre SKF 9205... -
 $B_d =$
 $d_a =$
 $d_b =$
 $M =$ +/-
 Redondez =
 $M_1 - M =$
 Si hay distanciador ajustado
 $B_b =$
 $B_h =$

Todos los valores en mm	0	45°	90°	135°	Desviación	ΔM
M						
M_1						
$M_1 - M$						

Si hay distanciador ajustado: $B_{be} =$

Comentarios sobre la rectitud:

Comentarios:

Fecha:

Nombre:

Tabla 3 Formulario de informe de mediciones para un asiento cónico comprobado con la herramienta SKF 9205

4. Gráficos de sectores de fallas de los rodamientos

Recuerdo una presentación a un grupo de clientes de diferentes plantas papeleras francesas, en la que me preguntaron sobre las causas de las fallas. Les dije que el 25% de los rodamientos fallan debido a una lubricación inadecuada. Varios cuestionaron esta afirmación. Uno de los asistentes me dijo que siempre le habían hecho creer que el 43% fallaban por esta causa. Otro consultó el Catálogo de productos de mantenimiento SKF y aclaró que allí se indicaba el 36%.

De hecho, todas las cifras son correctas, pero tenemos que entender el modo en que se han calculado y saber que son para industrias y aplicaciones en general. Esto conduce a una situación en la que la causa principal de falla de los rodamientos es, en general, la lubricación, mientras que en las máquinas papeleras sabemos que la causa principal es la entrada de agua.

El 43% proviene de una estimación de SKF Francia basada en el análisis de fallas de rodamientos para todas las industrias (→ **diagrama 1**). SKF Suecia presentó distintas estimaciones y el 36% proviene de ellos (→ **diagrama 2**). SKF EE. UU. tenía diferentes estimaciones (→ **diagrama 3**). Lo mismo pasaba con SKF en otros países. Para dotar de coherencia a los documentos SKF, se decidió utilizar la estimación sueca.

Las diferencias entre las estimaciones, en mi opinión, se deben a las siguientes razones:

- 1 Los tipos de industrias presentes en los países.
- 2 El modo en que el ingeniero de SKF local clasifica la falla del rodamiento.
- 3 La simplificación de los gráficos de sectores para mostrar solo las causas principales.
- 4 La cultura, la experiencia, etc.

El análisis de fallas de rodamientos, por ejemplo, no es tan simple como parece. Por ejemplo, la entrada de agua en el lubricante provoca lubricación inadecuada, pero si no hay ningún signo de corrosión y si la información es incompleta, la causa de la falla podría señalarse como la lubricación inadecuada.

El 25% de mi presentación proviene de la causa principal de las fallas de los rodamientos en las máquinas papeleras y de los debates entre el personal de mantenimiento de las plantas y los ingenieros de SKF (→ **diagrama 4**). Como estaba haciendo la presentación para un público europeo, utilicé las cifras europeas. Para un grupo de Estados Unidos y Brasil, las cifras hubieran sido diferentes (→ **diagrama 5**). Sin embargo, la entrada de agua sigue siendo la principal causa de fallas.

Para las máquinas de papel o tisú, es posible examinar las aplicaciones con más detalle (→ **diagrama 6**). Notará que no se indican porcentajes. Esto está hecho a propósito, porque creo que las estimaciones basadas en casos conocidos no reflejan la realidad con suficiente precisión.

SKF no ha creado estimaciones para todas las aplicaciones de rodamientos en todos los tipos diferentes de fábricas, y para ser sincero, soy un poco reacio a hacer ese estudio. No porque sea lento, sino porque prefiero que el análisis se realice a nivel de la fábrica para facilitar medidas correctivas específicas. Algunas veces, esto puede dar lugar a grandes sorpresas, como se muestra en la siguiente historia.

Razones por las que los rodamientos se dañan o fallan

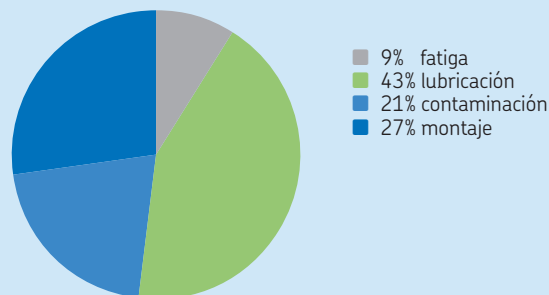


Diagrama 1 Estimación de SKF Francia de las causas de daños o fallas para todas las industrias

Razones por las que los rodamientos se dañan o fallan

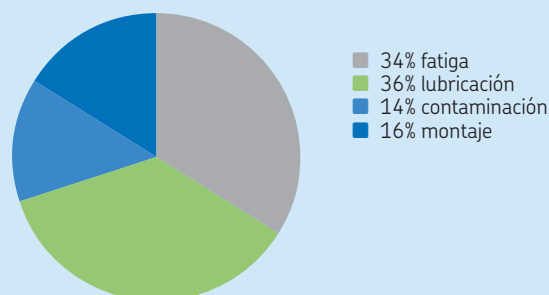


Diagrama 2 Estimación de SKF Suecia de las causas de daños o fallas para todas las industrias

Razones por las que los rodamientos se dañan o fallan

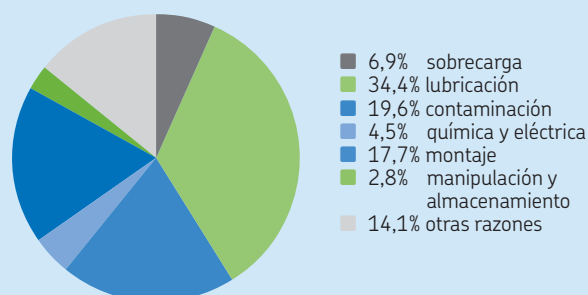


Diagrama 3 Estimación de SKF EE. UU. de las causas de daños o fallas para todas las industrias

Razones por las que los rodamientos se dañan o fallan en máquinas papeleras (estimación de Europa occidental)

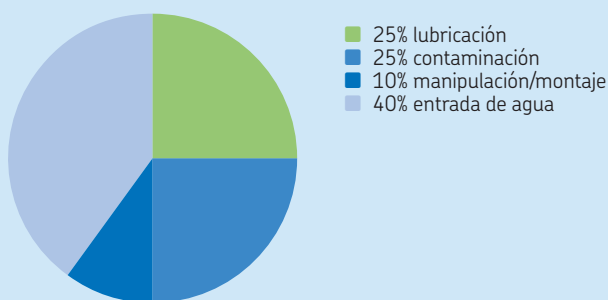


Diagrama 4 Las principales causas de daños o fallas de los rodamientos en máquinas papeleras en Europa occidental

Razones por las que los rodamientos se dañan o fallan en máquinas papeleras (estimación de EE. UU./Brasil)

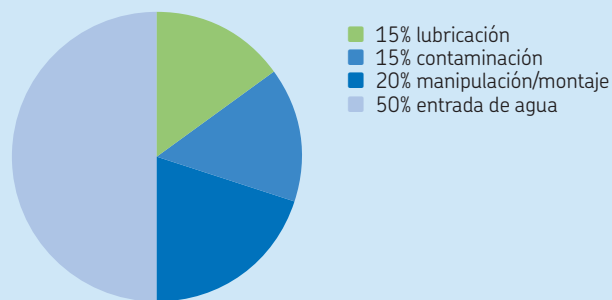


Diagrama 5 Las principales causas de daños o fallas de los rodamientos en máquinas papeleras en Estados Unidos y Brasil

Un buen cliente de SKF nos enviaba rodamientos para el análisis de fallas una o dos veces al año. Con los años, se elaboró un cuadro que mostraba que las causas principales eran la entrada de agua y la lubricación.

Posteriormente, se firmó un contrato de Soluciones integradas de mantenimiento (Integrated Maintenance Solutions, IMS) con la fábrica. Para reducir su consumo de rodamientos, acordamos que se almacenarían todos los rodamientos desmontados con algunos documentos en los que se indicaría la aplicación del rodamiento, la posición y el motivo que había llevado a desmontarlos. Cada trimestre viajaría a la fábrica para examinar los rodamientos junto con el personal de operaciones y mantenimiento de la planta. La idea era que esto les serviría como una forma de capacitación.

No realizamos el análisis detallado de las fallas en todos los rodamientos. Los reservamos para los casos críticos. No obstante, examinamos todos los rodamientos. La mayoría de ellos nunca se hubieran enviado a SKF para un análisis de fallas, ya sea porque no estaban en aplicaciones críticas, eran comparativamente baratos o no habían sido la causa de paradas no programadas. Normalmente, solo se habrían descartado.

Después de unas cuantas visitas a la planta, rápidamente se hizo evidente que la mayoría de los rodamientos fallaban debido a la contaminación sólida más que por la entrada de agua o la lubricación inadecuada.

¿Qué debemos aprender de esta historia? Que los gráficos de sectores para las causas de fallas de los rodamientos se basan en estadísticas e informes elaborados por los fabricantes a partir de las fallas que han visto. También, que una cosa es la medición y creación de gráficos de sectores, pero que lo que realmente cuenta es la selección de las medidas correctivas más apropiadas y correctas.

Razones por las que los rodamientos de cilindros Yankee se dañan o fallan

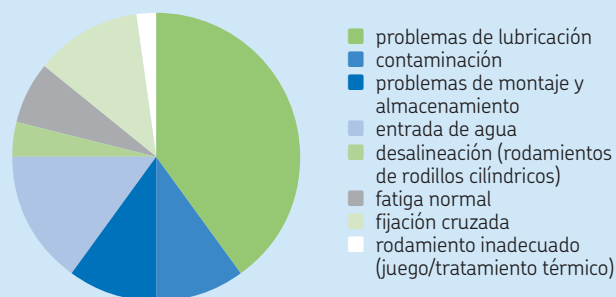


Diagrama 6 Las principales causas de daños o fallas de los rodamientos de cilindros Yankee



Segmento Global Celulosa y
Papel SKF

Contacto/Editor responsable
philippe.gachet@skf.com

® SKF es una marca comercial registrada del Grupo SKF.

© Grupo SKF 2015

El contenido de esta publicación es propiedad de los editores y no puede reproducirse (incluso parcialmente) sin autorización previa por escrito. Se ha tenido el máximo cuidado para garantizar 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 72/S9 11147/14 ES · Septiembre 2015

