

# Prácticas SKF para Celulosa y Papel

Segmento Global Celulosa y Papel SKF | N.º 20 | Abril 2017



## ¿Dedicar algunos pensamientos a sus ventiladores?

Como ingeniero del Centro de competencia de aplicaciones de SKF especializado en maquinarias hidráulicas, me sentí más que feliz al aceptar escribir la introducción para esta edición en particular de Prácticas SKF para Celulosa y Papel. Esto se debe a que, en esta ocasión, el enfoque está puesto en los ventiladores.

Según mi experiencia, muchas personas se concentran en el equipo de proceso principal, y creo que es justo decir que el balance de planta usado en las industrias de procesos no siempre recibe la atención que en realidad merece. Esto es un poco sorprendente. Después de todo, recuerdo a un colega ingeniero, ya jubilado, que viajó por el mundo visitando papeles, que nos decía

que la mayoría de los problemas que encontró estaban relacionados con los equipos auxiliares.

No creo que la situación haya cambiado tanto desde que mi colega se jubiló hace algunos años, por lo que los problemas con el balance de planta, incluidos los ventiladores, es probable que sean fuente de frustración y costos para muchos de ustedes también. Si es así, espero que les interesen los dos artículos que se incluyen en esta edición del boletín. El primero se refiere a problemas con ventiladores causados por soportes inadecuados, y el segundo, a posibles soluciones cuando se han incluido en el diseño rodamientos sobredimensionados.



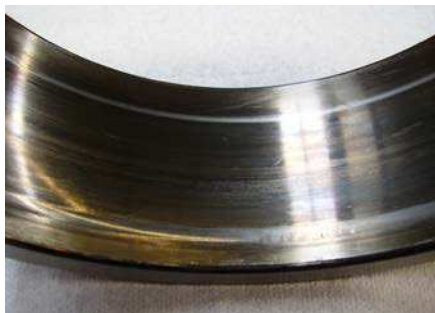
Atentamente,  
Magnus Arvidsson  
Centro de competencia de aplicaciones,  
Motores  
[magnus.arvidsson@skf.com](mailto:magnus.arvidsson@skf.com)

# La importancia de un soporte adecuado para sus ventiladores

La disposición tradicional de los rodamientos para los numerosos ventiladores, más bien pequeños y con carga ligera, hallados en las papeleras, es la de rodamientos de bolas a rótula de las series 22 o 23 montados sobre manguitos de fijación en soportes de pie. La mayor parte de estos ventiladores están lubricados con grasa y suelen funcionar bien durante muchos años, pero no siempre es así. He visitado papeleras en las que la vida útil del rodamiento de los ventiladores era muy corta, de tres a cuatro meses desde el montaje de los rodamientos nuevos en soportes nuevos. Incluso después de optimizar el procedimiento de montaje y la lubricación, la vida útil del rodamiento seguía sin ser aceptable.

Todos los rodamientos de bolas a rótula que he inspeccionado tenían un amplio patrón de paso en toda la circunferencia de los caminos de rodadura de los aros interior y exterior, desgaste y, a veces, rotura de la jaula y, en algunos casos, corrosión por contacto en la parte externa del aro exterior (ver figuras 1 a 4).

Finalmente, decidí cambiar la disposición de los rodamientos a rodamientos rígidos de bolas de la serie 63 con juego C3 en un soporte simple de la serie PDN 3. La vida útil de los rodamientos aumentó enormemente, pero en ese momento no tenía claro el motivo.



*Fig. 1: Patrón de paso en camino de rodadura de aro exterior*



*Fig. 3: Jaula rota*



*Fig. 2: Patrón de paso en caminos de rodadura de aro interior*



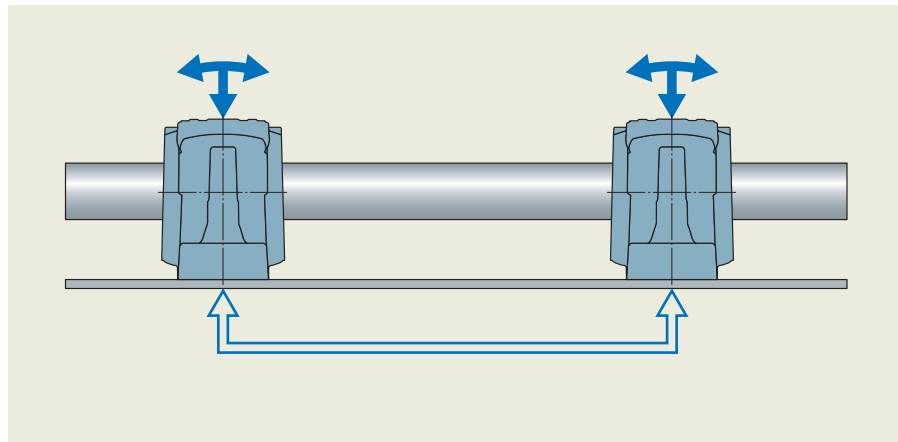
*Fig. 4: Corrosión por contacto en aro exterior*

Sabía que los apoyos sobre los que estaban montados los soportes de pie estaban, en su mayoría, hechos con placas de metal de 8 mm, y tenía la idea de que debía haber alguna conexión entre este soporte débil y la corta vida útil de los rodamientos. Entonces visité una planta siderúrgica en donde tenían problemas similares, e hice medir las vibraciones en sus soportes de pie y sus apoyos. Me informaron que los análisis de vibraciones habían mostrado que sus soportes de pie se movían en sentido axial, con movimiento pendular, con una determinada frecuencia (ver **fig. 5**).

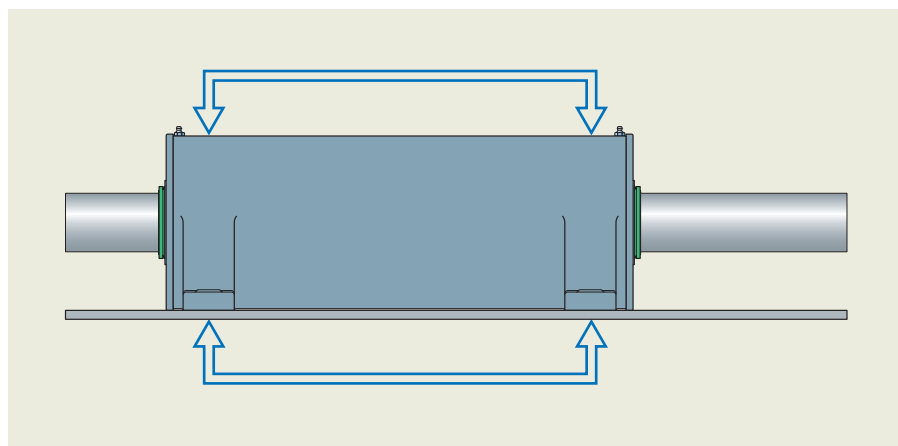
Cuando un soporte de pie se mueve de esta manera, el aro exterior de su rodamiento hace el mismo movimiento con respecto a las bolas y el aro interior. Cuando esto sucede con una determinada frecuencia, las bolas se mueven tanto en sentido axial como radial sobre los caminos de rodadura. Esto crea una perturbación cinemática en el contacto por rodadura entre la bola y el camino de rodadura, que conduce a un desgaste superficial cuando colapsa la película de lubricante.

## Mejor apoyo con soportes para dos rodamientos PDN

Al montar un único soporte para dos rodamientos PDN en lugar de dos soportes de pie separados, la disposición de los rodamientos es más rígida y estos no experimentarán el movimiento pendular. Además, el soporte tiene mayor rigidez, ya que el soporte para dos rodamientos está conectado sobre una superficie mayor de la que tendrían dos soportes individuales. Con esta disposición, los movimientos de los aros exteriores de los rodamientos están más restringidos (ver **figura 6**).



**Fig. 5:** *Movimiento pendular de soportes mal apoyados*



**Fig. 6:** *Apoyo en un soporte para dos rodamientos PDN*

## Soportes PDN versus soportes de pie

En su momento, siempre optaba por los soportes de la serie PDN 3 con rodamientos rígidos de bolas de la serie 63 porque los soportes estaban siempre disponibles en existencia. Cada vez que era posible, elegía un soporte PDN con la misma altura (H1) que los soportes SNL/SE. Una ventaja adicional de los soportes PDN es que el eje escalonado es de 5 a 10 mm más grande que el eje recto de un soporte SNL o SE en la mayoría de los casos. Esto significa que hay un aumento de la rigidez del eje de la aplicación.

## Se recomiendan los aros de apoyo para los sellos con aro en V

Con la alta velocidad relativa del eje, hay riesgo de que el aro en V pueda trabajar flojo desde la tapa o incluso desde el eje debido a las fuerzas centrífugas.

La velocidad periférica máxima de un sello de fieltro es de 4 m/s y la de un aro en V es de 7 m/s (ver **páginas 64-7** del catálogo de *soportes para rodamientos y rodamientos de rodillos de SKF*). Por lo tanto, siempre monté un aro de apoyo contra el aro en V y sobre él.

El aro de apoyo tiene tres funciones: mantiene el aro en V en su lugar, funciona como un deflector adicional al formar un intersticio con la tapa del soporte y protege al aro en V de los daños durante el funcionamiento (ver **figura 7**). Para las dimensiones recomendadas de los aros de apoyo, ver el catálogo de *soportes para rodamientos y rodamientos de rodillos de SKF*.

## Ajustes recomendados

SKF normalmente recomienda un ajuste del eje k6 para los rodamientos rígidos de bolas en este tipo de aplicaciones. Sin embargo, experimenté algunos casos de deslizamiento entre el aro interior y el eje debido al movimiento relativo cuando el ajuste K6 estaba en su mínimo (ver **figura 8**). En consecuencia, siempre uso un ajuste del eje m5.

Según el catálogo de *rodamientos de SKF*, para  $d = 65$  mm, un ajuste k6 da como resultado una interferencia de  $-6$  a  $-32$   $\mu\text{m}$ , mientras que con m5, es de  $-15$  a  $-35$   $\mu\text{m}$ .

Cuando monto un rodamiento rígido de bolas de la serie 63 con un juego C3, no hay

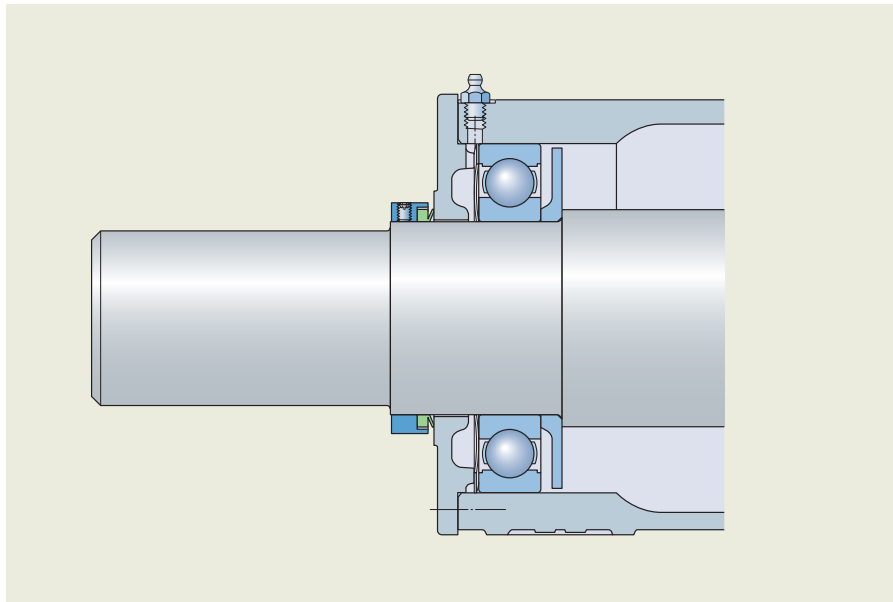


Fig. 7: Aro de apoyo para sello con aro en V

riesgo de precargar el rodamiento durante el funcionamiento con el ajuste más apretado. Además, el ajuste de interferencia máximo para las tolerancias k6 y m5 es más o menos el mismo.

Tenga en cuenta que el juego C3 también tiene un efecto positivo sobre la vida útil del rodamiento, ya que la fuerza axial sobre el eje, causada por la diferencia de presión en el ventilador, es menor porque el ángulo de contacto entre el aro interior y el exterior es mayor de lo que sería con un juego normal.

## Apoyo

El apoyo debe ser suficiente. Prefiero aproximadamente 30 mm, pero esto depende del tamaño de los soportes para rodamientos.

En la página 36 del folleto de *soportes de pie SNL* de SKF se hacen recomendaciones de tolerancias para el apoyo, que se reproducen a continuación.

- Verifique que la rugosidad de la superficie de apoyo sea  $R_a 12,5$   $\mu\text{m}$ . La tolerancia de planitud debe ser de IT7. Asegúrese de que la superficie de montaje esté limpia. Si la superficie de montaje está pintada, es necesario retirar la pintura. Si se usan chapas calibradas, estas deben cubrir la totalidad de la superficie. La superficie de montaje (marco) debe diseñarse de manera que admita la carga, las vibraciones y las configuraciones reales.

Ejemplo para la tolerancia de planitud:

- Los pies del soporte para rodamientos SNL 524-620 tienen una longitud (L) de 410 mm y un ancho (A1) de 120 mm.
- Según la norma ISO, las dimensiones de longitud de 410 mm tienen una tolerancia IT7 de 63  $\mu\text{m}$ .
- Según la norma ISO, las dimensiones de longitud de 120 mm tienen una tolerancia IT7 de 35  $\mu\text{m}$ .

Estos valores pueden verificarse con galgas de espesores, y también puede verificarse visualmente si un apoyo está plano o no, colocando una regla sobre él y alumbrando con una linterna por debajo.



Fig. 8: Evidencia de deslizamiento de aro sobre aro interior del rodamiento

## Velocidad de referencia

La velocidad de referencia de los rodamientos rígidos de bolas es ligeramente más alta que la de los rodamientos de bolas a rótula. Un rodamiento rígido de bolas A 6313, por ejemplo, tiene una velocidad de referencia de 10 000 r. p. m., mientras que para un rodamiento de bolas a rótula 2313 K, es de 9 000 r. p. m. De este modo, puede esperar una temperatura de funcionamiento menor en un rodamiento rígido de bolas. En la práctica, medimos una temperatura 10 °C menor en soportes para dos rodamientos PDN en comparación con soportes de pie SNL/SE.

Otras ventajas de los soportes PDN son que eliminan mejor el calor por su mayor masa y evitan la perturbación cinemática debido a su mayor rigidez.

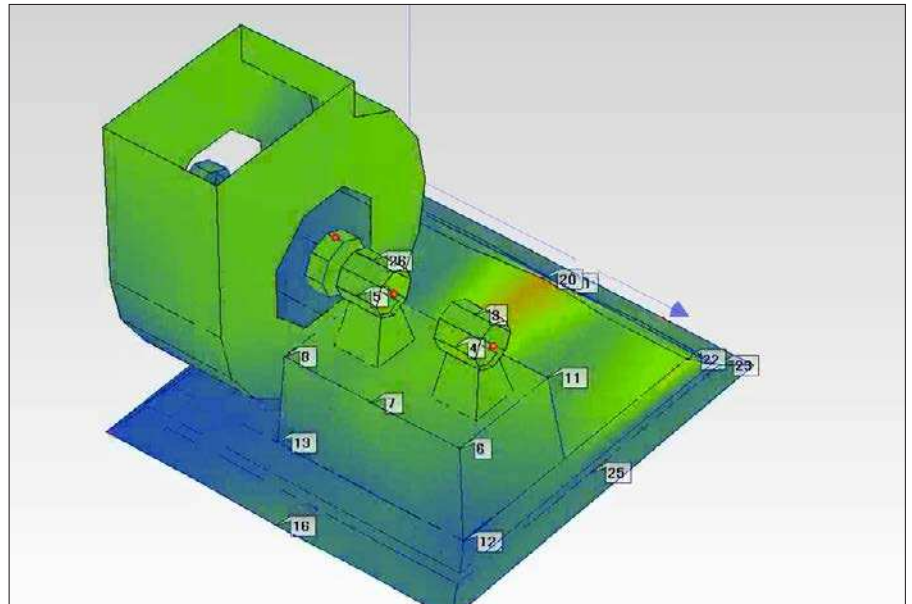


Fig. 9: Gráfico de la ODS antes del reacondicionamiento

## Forma de deflexión durante el funcionamiento (ODS)

SKF usa la ODS (Operating Deflection Shape) para medir estructuras y para decidir cómo pueden fortalecerse para superar las posibles debilidades. Los problemas en la estructura se visualizan midiendo y mostrando el comportamiento del movimiento dinámico de una máquina en funcionamiento. Esta técnica, cuando se la combina con conocimiento de la frecuencia de la estructura, puede usarse para resolver problemas estructurales.

Mientras cambiaba la disposición de rodamientos de un ventilador de dos soportes de pie SNL a un soporte PDN en una papelera con la que teníamos un contrato de servicio, tuve la oportunidad de ver mediciones de la ODS antes y después del reacondicionamiento, gracias al apoyo de un colega de nuestro departamento de monitoreo de condición.

Había una clara diferencia en el movimiento de los rodamientos antes y después del reacondicionamiento, y se podía ver que los dos soportes de pie SNH se movían uno contra el otro (ver figuras 9 y 10). Tenga en cuenta que la temperatura ambiente era diferente cuando se hicieron las dos mediciones.

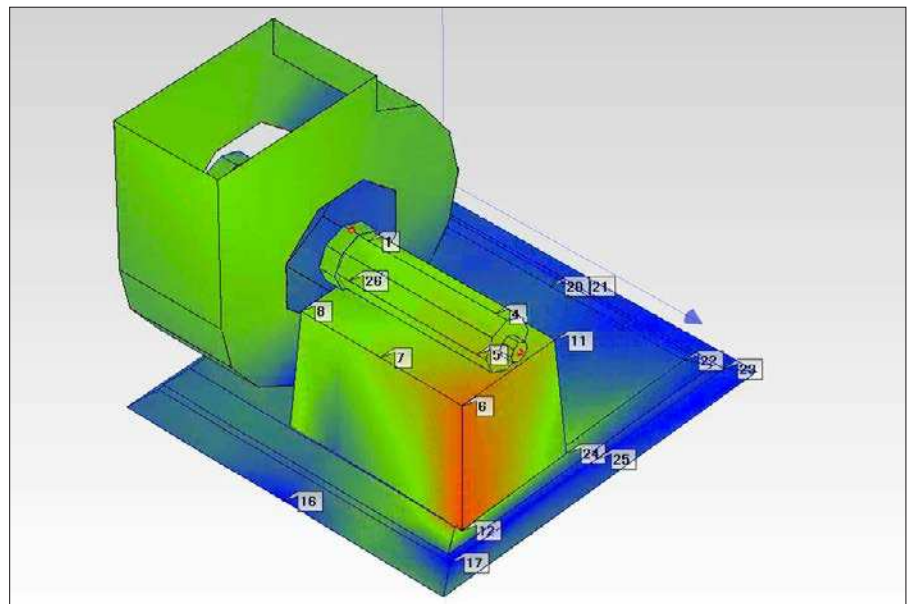


Fig. 10: Gráfico de la ODS después del reacondicionamiento

## Monitoreo de condición

Para ventiladores críticos en papeleras, recomiendo el monitoreo de condición. Idealmente, los sensores deben estar montados en las posiciones radial y axial, ya que tomar mediciones en ambos sentidos brinda un muy buen panorama de lo que le está sucediendo al rodamiento (ver **figuras 11 y 12**). El sensor axial debería montarse en el pie del soporte si el espacio lo permite.

## Lubricación

Debido a la velocidad relativamente alta, mi elección de lubricación estándar es la grasa LGHP 2 de SKF, pero en algunos casos, las papeleras han provisto su propia grasa.

Los dos soportes para rodamientos PDN están bien diseñados para la relubricación con los rodamientos en ambos extremos de los soportes. Los aros deflectores mueven la grasa vieja hacia el medio de los soportes, en donde hay suficiente lugar para recolectarla (ver **figura 13**).



*Fig. 11: Colocación de sensor radial*



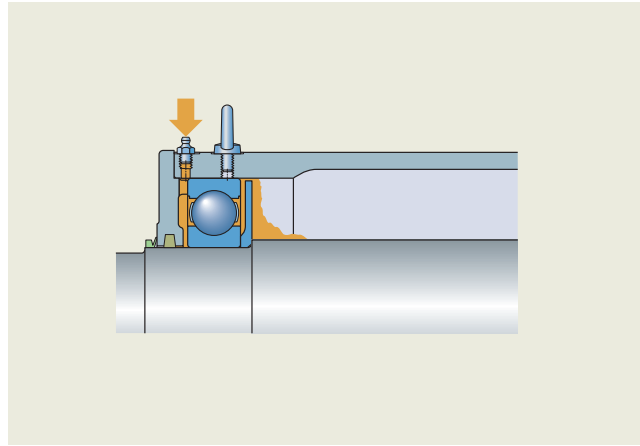
*Fig. 12: Pie de soporte preparado para colocar sensor axial*

## Conclusión

El soporte para dos rodamientos PDN es una solución confiable para los ventiladores que sufren problemas de vida útil de los rodamientos debido a un apoyo débil de sus soportes de pie. A lo largo de los años, he montado muchos de estos soportes en ventiladores y he visto aumentar la vida útil de tres a cuatro meses a seis a ocho años.

Sin embargo, hay una desventaja con respecto al uso de dos soportes de pie. Resulta que es necesario desmontar la rueda del ventilador de su eje para cambiar el soporte PDN después de seis a ocho años de funcionamiento. Aclarada esta cuestión, jamás ha sido motivo para que las papeleras con las que he trabajado rechazaran la adopción de la solución del soporte PDN.

Las disposiciones de los rodamientos con dos soportes de pie SNL separados también son una solución confiable, en particular cuando hay problemas con la flexión del eje y/o la desalineación del rodamiento. Sin embargo, sí necesitan tener una estructura de apoyo lo suficientemente rígida para tener un buen rendimiento.



*Fig. 13: Relubricación de soportes PDN*



Rob Bouwmeester  
Ingeniero de aplicaciones  
SKF B.V.  
rob.bouwmeester@skf.com

# Problemas con rodamientos sobredimensionados y una solución rápida

Hace algunos años, un cliente se quejó de la vida útil muy corta de un rodamiento de rodillos a rótula montado sobre un ventilador de gases calientes. Su vida útil estaba siendo de solo dos semanas. Cambiaban el rodamiento, pero el nuevo no duraba más tiempo. Montaban otro rodamiento, pero fallaba y el soporte se prendía fuego.

Llegué a la papelera con muy poca información. No me habían enviado nada, ya que mi visita había sido planeada el día anterior. Todo lo que sabía era que el problema estaba en un rodamiento de SKF en un soporte SKF en un ventilador de gases calientes. Me llevaron a ver lo que quedaba del rodamiento y el soporte que habían fallado, pero los componentes del rodamiento estaban tan gravemente dañados que no había indicios de la causa raíz de la falla.

Yo sabía que el rodamiento estaba funcionando a alta velocidad en un entorno caliente, y que estaba montado sobre un soporte SOFN de SKF (ver **figura 13**). Tenga en cuenta que estos soportes ahora se reemplazan en su mayoría con SONL de SKF (ver **figura 14**). Tanto los soportes SOFN como los SONL tienen anillos elevadores que cuelgan libremente de un manguito situado en el eje sobre un lado del rodamiento, y hacen contacto con el baño de aceite en la mitad inferior de los soportes (ver **figura 15** en donde se muestra el aro con un círculo rojo). Cuando el eje gira, el anillo lo sigue y transporta el aceite a una ranura colectora para permitir que el lubricante llegue al rodamiento. Esto permite velocidades mayores a las que serían posibles con la lubricación con un baño de aceite o con grasa estándar. Además, el aceite del soporte puede enfriarse, aunque este no era el caso.

No había señal del anillo elevador con el rodamiento y el soporte dañados, por lo que pregunté si el equipo de mantenimiento había olvidado montarlo. La respuesta que recibí fue tal, que no me animé a preguntar



*Fig. 13: Soporte SOFN*



*Fig. 14: Soporte SONL*



si habían olvidado llenar el fondo del soporte con aceite.

El cliente me mostró entonces un estudio realizado por un consultor, con el fin de aumentar la confiabilidad del ventilador. Como resultado, se modificó el ventilador al colocarle rodamientos de mayor tamaño, y la nueva vida útil calculada no era de miles de horas, ¡sino de miles de años! Inmediatamente entendí que el rodamiento estaba funcionando sin carga suficiente, y que quizás la falla se debiera a que los rodillos se deslizaban en lugar de girar en la zona de carga del rodamiento. No estaba 100% seguro, porque algunos rodamientos pueden funcionar bien con cargas mucho menores que los mínimos recomendados. Es una zona gris; algunas veces funcionan y otras no.

El cliente quería solucionar rápido el problema, por lo que sugerí una solución muy rápida: retirar algunos rodillos del rodamiento. Esto aumenta la carga sobre los rodillos restantes y los fuerza a girar en la zona de carga del rodamiento. Se hizo un largo silencio cuando sugerí retirar dos rodillos de cada tres, y dejar solo cinco rodillos por hilera.

Se montó un rodamiento con menos rodillos bajo la supervisión de SKF. El ingeniero de servicio de SKF a cargo me informó que estaba seguro de que durante los montajes anteriores habían olvidado el anillo elevador, y de que la falta de aceite era la causa raíz de la falla. En cualquier caso, diez años más tarde recibimos un pedido del mismo cliente del mismo rodamiento con menos rodillos.

Esta no fue la primera vez que había recomendado retirar rodillos. Lo había hecho antes para un 239/500 CA/W33 montado sobre un cilindro de compensación de flexión que terminó con 14 rodillos por hilera en lugar de los 38 originales. También para un 23038 CCK/C4W33 montado sobre un rodillo de prensa calentado que perdió el 50% de sus rodillos. El ejemplo más extremo fue un 23972 CC/W33 montado sobre una máquina de impresión, en la cual el rodamiento había sido seleccionado según el

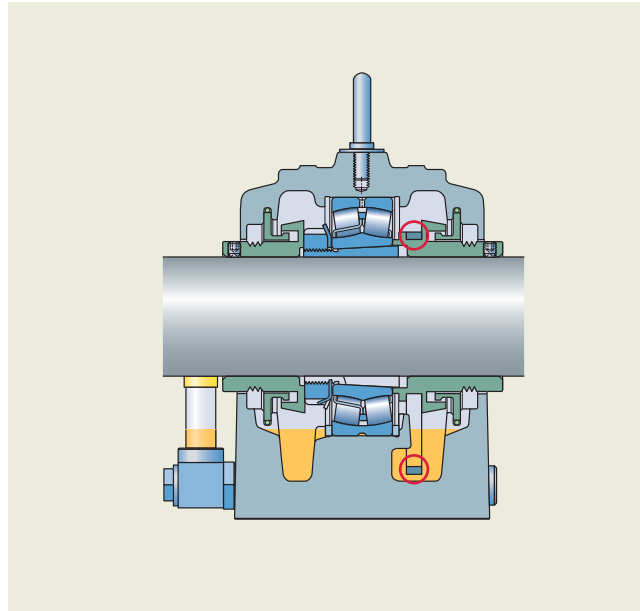


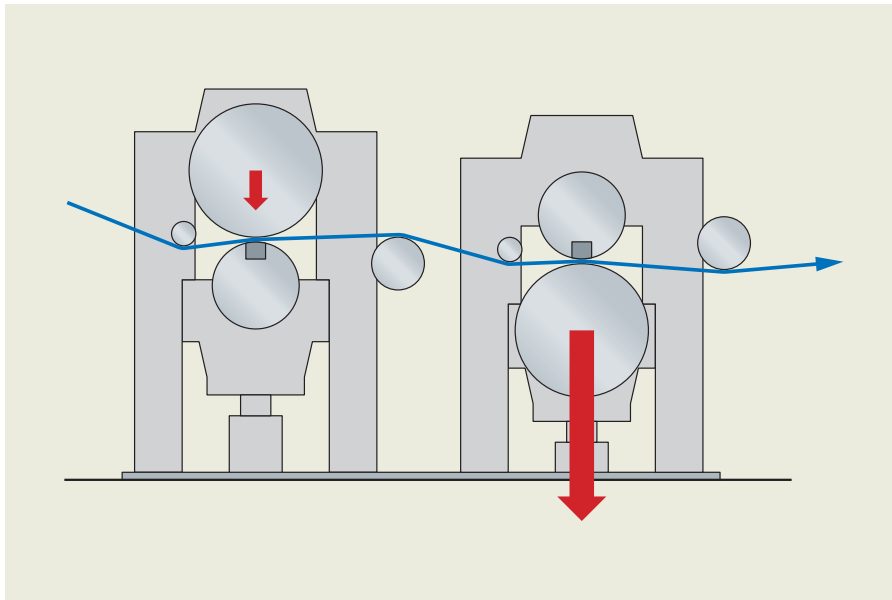
Fig. 15: Corte de un soporte SONL

tamaño del eje. Comenzó con 40 rodillos por hilera y terminó solo con 8.

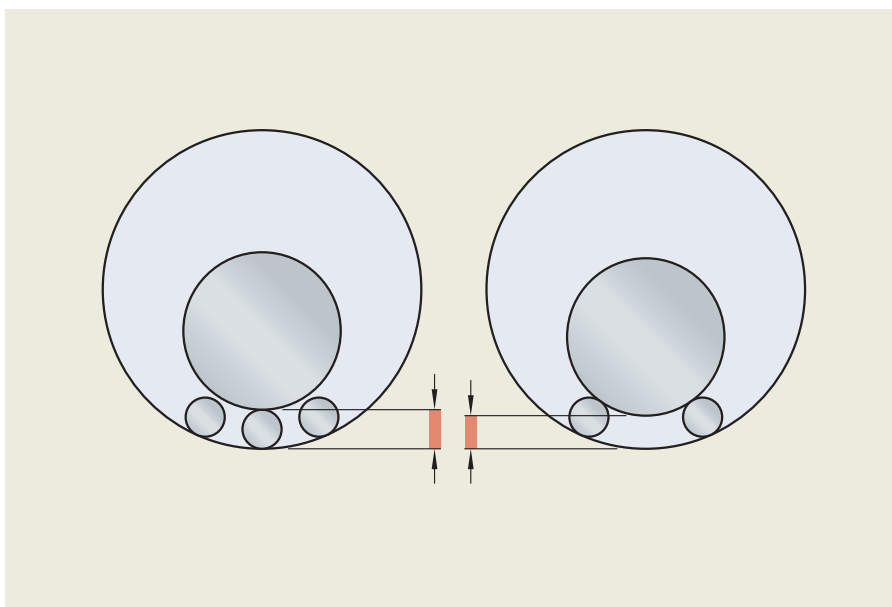
Retirar los rodillos puede ser una buena solución cuando hay riesgo de que se dañen los rodamientos por una carga demasiado baja, pero hay dos potenciales desventajas:

**1** Puede ser necesario tener que usar el rodamiento en otra aplicación en donde se requiera la capacidad completa. Este puede ser el caso de las calandrias suaves, por ejemplo, en las que los rodillos pueden montarse en la posición superior o inferior. Cuando están en la posición superior, la carga NIP reduce la carga sobre los rodamientos, mientras que, en la posición inferior, la carga NIP la aumenta (ver **figura 16**). Como los rodillos se almacenan con los rodamientos montados, es mejor usar rodamientos con capacidad de carga completa que sean capaces de funcionar sin adherencia entre los rodillos y los caminos de rodadura cuando las cargas son demasiado bajas. En esos casos, SKF recomienda el recubrimiento NoWear para los rodillos, ya que se ha demostrado que elimina la adherencia en las calandrias suaves.

**2** La **figura 17** muestra, de manera muy exagerada, que la variación radial total en un rodamiento también depende de la distancia entre los dos rodillos y el juego radial interno. El aro interior de la derecha se moverá hacia arriba y hacia abajo una distancia mayor que el de la izquierda cuando el rodamiento esté girando. La **tabla 1** muestra la desviación adicional máxima en el plano vertical de un rodamiento SKF 23080 CC/W33 con una carga radial de 39,5 kN con valores de juego radial y cantidades de rodillos diferentes. Tenga en cuenta que se supone que el aro interior tiene el mismo grosor de la pared en toda la circunferencia, los rodillos tienen exactamente el mismo diámetro y el rodamiento estándar tiene 38 rodillos por hilera. La norma ISO para este rodamiento acepta una variación radial de 60  $\mu\text{m}$ . Conociendo la precisión de fabricación de los rodamientos de SKF, un rodamiento con solo nueve rodillos por hilera y 0,200 mm de juego radial aún tendría probablemente una variación total con el rango ISO para un rodamiento de precisión normal. Esto significa que retirar rodillos no crea una variación total inaceptable en la mayoría de las aplicaciones de rodamientos.



**Fig. 16:** Calandria suave. Las flechas rojas muestran la carga en los rodamientos principales



**Fig. 17:** La cantidad de rodillos y el juego radial interno afectan la variación radial total

Tabla 1

**Influencia del juego radial interno y la cantidad de rodillos sobre la variación total en el mismo sentido que la carga radial**

	Juego radial = 0,000 mm	Juego radial = 0,100 mm	Juego radial = 0,200 mm	Juego radial = 0,300 mm
9 rodillos por hilera	0,6 µm	17,1 µm	38,5 µm	43,6 µm
10 rodillos por hilera				43,9 µm
38 rodillos por hilera				0,8 µm

Entonces, ¿cuántos rodillos hay que retirar? La respuesta es simple si nos limitamos a los rodamientos que son fáciles de desarmar, como los rodamientos de rodillos a rótula de SKF y los rodamientos CARB sin la jaula de PA46 reforzada con fibra de vidrio. SKF da una carga mínima recomendada en función de la capacidad de carga estática básica,  $C_0$ , y en el catálogo de *Rodamientos* de SKF se indican fórmulas para calcular la carga mínima. La carga mínima calculada es, de hecho, la carga estática mínima equivalente y debe compararse con la carga estática equivalente del rodamiento. Debido a que la capacidad de carga estática básica,  $C_0$ , es proporcional a la cantidad de rodillos, si se retiran la mitad de los rodillos,  $C_0$  se reduce a la mitad también.

**¿Se perdió? Aquí hay un ejemplo:**

Rodamiento 22320 EK/C3, lubricado con grasa. Por lo que la carga mínima recomendada es igual a:

$$P_{0m} = 0,01 C_0$$

$$C_0 = 950 \text{ kN}$$

$$\text{Entonces } P_{0m} = 9,5 \text{ kN}$$

La carga radial es  $F_R = 4 \text{ kN}$  y la carga axial es

$$F_A = 1 \text{ kN}$$

$$P_0 = F_R + Y_0 \times F_A$$

$$Y_0 = 2$$

$$P_0 = 6 \text{ kN}$$

$P_0 < P_{0m}$  por lo que hay riesgo de daño en los rodamientos debido a carga demasiado baja.

Si se retira la mitad de los rodillos, quedan 8 rodillos por hilera en lugar de 16.  $C_0$  se divide por dos y  $P_{0m} = 9,5/2 = 4,75 \text{ kN}$  que está por debajo de  $P_0$ .

Recalcular la vida nominal básica del rodamiento también es bastante simple, ya que la capacidad de carga dinámica básica  $C$  es proporcional a  $Z^{3/4}$ , en donde  $Z$  es la cantidad de rodillos por hilera. Con la mitad de los rodillos, el nuevo valor de  $C$  será igual al valor original de  $C$  multiplicado por 0,59. Por lo que para 22320 EK/C3 estándar,  $C = 847 \text{ kN}$ . Con el 50% de la cantidad de rodillos,  $C = 847 \times 0,59 = 500 \text{ kN}$ .

Si es posible desarmar un rodamiento sin daños, retirar rodillos es una manera rápida de resolver el problema de la poca vida útil debido a la adherencia bajo cargas demasiado bajas. Solo debe saber cómo desarmar y volver armar el rodamiento y hacerlo en un ambiente limpio. Sin embargo, si el rodamiento debe conservar su capacidad de carga original o si se necesita baja variación radial, SKF recomendará el recubrimiento NoWear o de óxido negro.



Philippe Gachet  
Experto sénior en aplicaciones  
Centro de competencia de aplicaciones  
de SKF  
Philippe.Gachet@skf.com



[skf.com](http://skf.com)

© SKF es una marca registrada 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 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 11147/19 ES · Noviembre 2017