



*Philippe Gachet utiliza un trozo de alambre para comprobar la condición del camino de rodadura en un rodamiento de rodillos de fieltro.*

## Haciendo historia

***Se preguntará por qué SKF decidió publicar este boletín. Es una larga historia que comenzó en 1994, cuando se retiró la revista sobre rodamientos de bolas SKF Ball Bearing Journal y se reemplazó por la revista Evolution. El Ball Bearing Journal, que se publicó desde 1926 hasta 1994, era sumamente técnico. Evolution, en cambio, tiene un enfoque diferente y más general.***

En ese momento, trabajaba como ingeniero de aplicaciones para SKF Francia. Me contactaron personas del sector de mantenimiento de plantas papeleras e ingenieros de diseño de empresas que fabrican maquinaria de procesos para comentarme que necesitaban una publicación técnica como el Ball Bearing Journal. Así nació SKF Info Papeterie, en francés. Era un documento fotocopiado, simple y en blanco y negro, con contenido técnico para ingenieros e incluía recomendaciones prácticas para el personal de mantenimiento. La mayoría de los artículos se basaban en preguntas que me habían formulado y en algunas de las prácticas que conocí al visitar las fábricas.

SKF Info Papeterie dejó de publicarse, después de 20 números, cuando pasé a ocupar un nuevo puesto en el equipo del segmento internacional de celulosa y papel de SKF. El año pasado decidimos revivirla. Sin embargo, como trabajo a nivel internacional, también tenía que convertirse en una revista global, por lo que terminó llamándose SKF Pulp & Paper Practices (Prácticas SKF para Celulosa y Papel).

Para esta edición, decidí escribir sobre el juego interno en los rodamientos de rodillos a rótula, antes de pasar a los métodos de montaje modernos en el tercer número. El motivo de esto es que

muchos se sorprenden al saber que la reducción del juego no significa obtener el juego correcto, sino lograr el ajuste de apriete correcto del aro interior. Entonces, con frecuencia, surge la siguiente pregunta: "Pero ¿qué pasa con el juego del rodamiento?"

Con respecto a la reducción del juego, el método de la galga de espesores se trató en esta última edición, pero tendrá que actualizarse pronto. A finales de año van a cambiar los valores que recomendamos para la reducción del juego interno y desaparecerán los valores mínimos admisibles. Esto no influirá en los métodos de montaje modernos para rodamientos con agujeros cónicos, como el método de calado SKF Drive-up y SensorMount, que se explicarán en el próximo número.

Ahora, lo dejo leer el segundo número de Prácticas SKF para Celulosa y Papel. Los comentarios sobre el primero fueron muy positivos, lo que es muy motivador para nosotros. No dude en contactarnos si tiene preguntas o quiere enviar comentarios.

*Atentamente,  
Philippe Gachet*



### **Rodamientos en máquinas papeleras**

*Ya está disponible la 4.ª edición de este manual para diseñadores y operarios de maquinaria del sector papero. El número de publicación es 10580 EN y se encuentra disponible para descargarlo en [skf.com](http://skf.com).*

# C4 en lugar de C3

A veces, no tenemos a disposición la versión de rodamiento específica, aunque sí el mismo tipo con una clase de juego radial diferente. ¿Se puede utilizar en su lugar? Por ejemplo, ¿puede montar un 22316 EK/C3 en sus rodillos de fieltro en lugar de un 22316 EK? Este tipo de pregunta surge con mucha frecuencia. Entonces, veamos las diferentes clases de juego, cómo se seleccionan y qué puede ocurrir si se cambia la clase de juego en una aplicación.

En este artículo, nos centraremos en los rodamientos de rodillos a rótula. Mucho de lo que se puede leer en este documento también se aplica a otros tipos de rodamientos, p. ej., los rodamientos de rodillos cilíndricos o los rodamientos rígidos de bolas. Sin embargo, no vale para todos los tipos de rodamientos ni disposiciones de rodamientos. Para los rodamientos de rodillos toroidales CARB, la base es la misma que para los rodamientos de rodillos a rótula pero, además, el juego radial cambiará en función del desplazamiento axial y/o la desalineación del aro interior con respecto al aro exterior.

Antes de responder algunas de las preguntas frecuentes, veamos los conceptos básicos: qué es la clase de juego radial; qué influencia tiene en la vida útil del rodamiento; la precisión de giro y cómo se elige la clase de juego.

## Nociones básicas

### Clase de juego radial

El juego radial exacto de un rodamiento es el desplazamiento radial posible del aro interior con respecto al aro exterior. Este juego radial depende de los diámetros de los caminos de rodadura, los diámetros de los rodillos y, para el rodamiento de rodillos a rótula, de la posición de los caminos de rodadura en el aro interior (→ fig. 1).

Por razones prácticas, los rodamientos no se suministran con un juego radial exacto. Más bien, vienen con un juego que se ajusta a un rango especificado por la norma ISO 5753:1991.

La clase de juego radial se indica mediante un sufijo en la designación del rodamiento. Estos sufijos, del más pequeño al más grande, son: C1, C2, CN, C3, C4 y C5. Se considera que CN es la clase de juego estándar y no se incluye en la designación del rodamiento.

#### Ejemplo con un 22320 EK:

	el juego radial es
22320 EK/C1	de 0,035 a 0,055 mm
22320 EK/C2	de 0,055 a 0,080 mm
22320 EK	de 0,080 a 0,110 mm (se omite el sufijo CN)
22320 EK/C3	de 0,110 a 0,140 mm
22320 EK/C4	de 0,140 a 0,180 mm
22320 EK/C5	de 0,180 a 0,230 mm

Además, se pueden agregar letras a la clase de juego para las tolerancias reducidas o desplazadas.

C3L significa la mitad inferior de C3  
C3H significa la mitad superior de C3

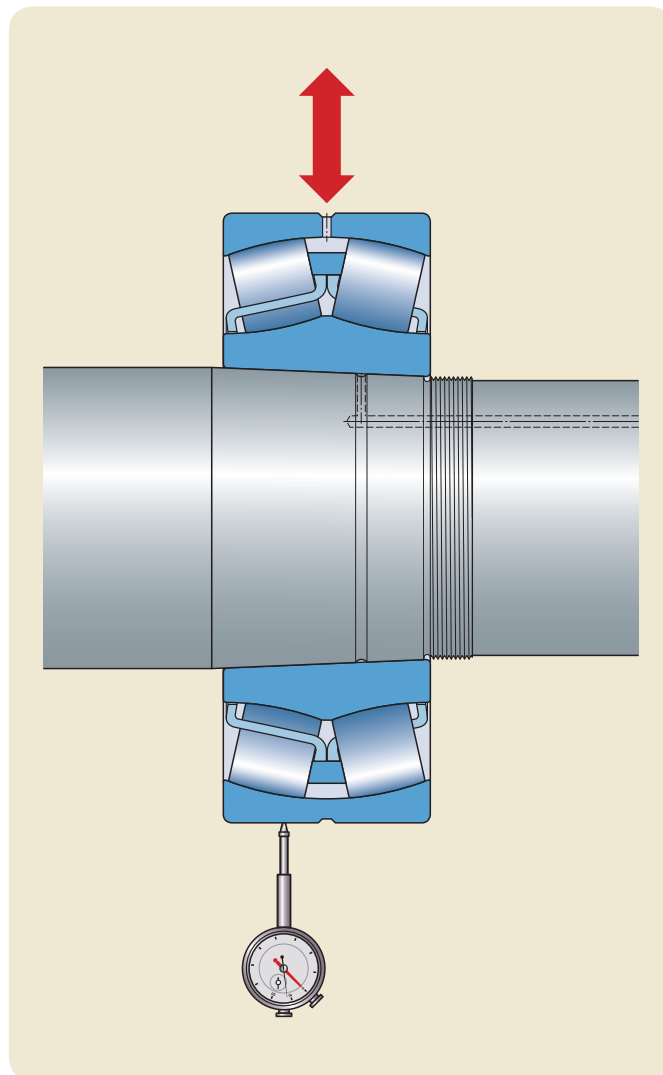


Fig. 1.

C3P significa la mitad superior de C3 con la mitad inferior de C4  
C3M significa la mitad superior de C3L con la mitad inferior de C3H

En algunos casos, la clase de juego forma parte de otro sufijo. Para los rodamientos de rodillos a rótula montados en máquinas papeleiras, los más comunes son C083 y C084. C08 indica rodamientos con precisión de giro mejorada. Por lo tanto, C083 indica un rodamiento con precisión de giro mejorada y clase de juego C3.

La clase de juego radial debe elegirse basándose en la aplicación, es decir, las condiciones de funcionamiento (velocidad, carga, lubricación, transferencia de calor), cualquier reducción del juego debido a ajustes de interferencia y tener en cuenta las condiciones de puesta en marcha.

### El efecto del juego radial en la vida útil del rodamiento

La fig. 2 muestra que los rodamientos que tienen juego mayor tienen menos rodillos que soportan la carga. Por consiguiente, la carga por rodillo y la presión de contacto en el rodillo con más carga también son mucho mayores. En tal situación, la vida a fatiga será inferior a la del otro rodamiento.

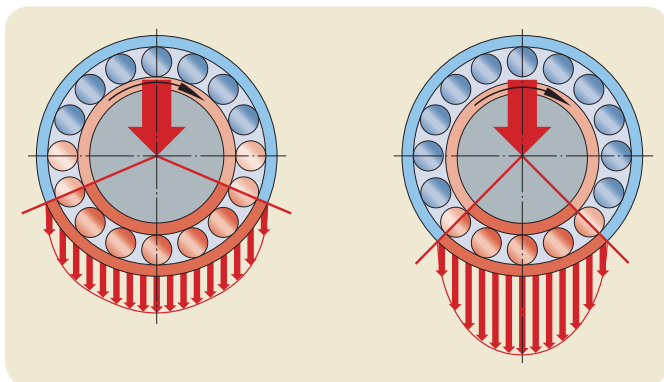


Fig. 2.

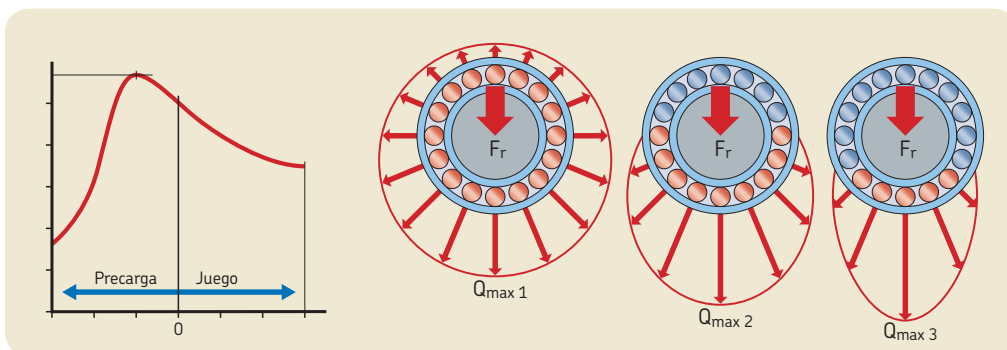


Fig. 3.

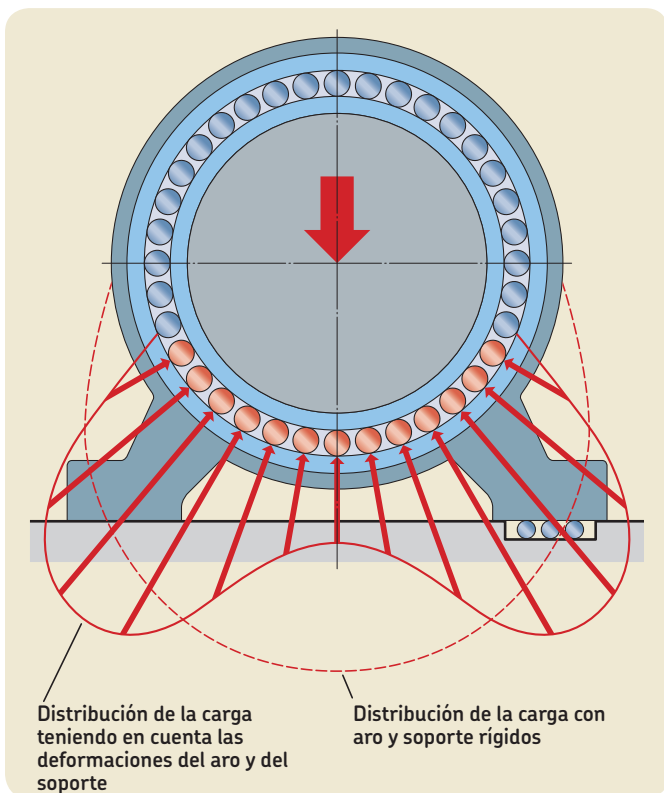


Fig. 4.

Cuando se calcula la vida útil nominal de un rodamiento con el método ISO, se supone que el juego del rodamiento es igual a cero (sin juego, no hay precarga), lo que corresponde al 50% de los rodillos con carga.

Si el rodamiento no tiene juego y tiene una precarga pequeña, la carga total sobre el rodamiento será mayor, pero en el rodillo con más carga, esta será menor. Esto se debe a que la carga está mejor distribuida en todos los rodillos. Esto significa que aumenta la vida a fatiga del rodamiento. Sin embargo, si la precarga se vuelve demasiado pesada, la vida a fatiga disminuye rápidamente (véase la curva roja en la **fig. 3**)

En realidad, esto no es tan simple porque el soporte no es totalmente rígido. Un soporte es flexible y, como el aro exterior del rodamiento tiende a tomar la forma de su asiento en el soporte, la distribución de las cargas puede ser bastante diferente ( $\rightarrow$  **fig. 4**).

Entonces, cambiará la curva de la vida a fatiga (en rojo en la **fig. 3**), pero siempre caerá rápidamente si soporta demasiada precarga, y la vida a fatiga disminuirá cuando el juego se vuelva demasiado grande.

El juego y la precarga también influyen en la fricción, y por lo tanto, en el calor generado por el rodamiento. Para simplificar, cuanto menor sea el juego, mayor será la fricción. La fricción también aumenta rápidamente con la precarga.

### La influencia del juego radial en la precisión de giro

La **figura 5** muestra un rodamiento con demasiado juego, pero con aros y rodillos totalmente redondos.

Si la carga permanece siempre en el mismo sentido, la posición relativa del aro interior en comparación con la del aro exterior seguirá siendo la misma. Sin embargo, si la carga se mueve a la posición de las 3 en punto (indicada por la flecha roja con línea de puntos), el centro del aro interior se moverá hacia arriba y a la derecha. En caso de que varíe el sentido de la carga, cuanto menor sea el juego durante el funcionamiento, mejor será la precisión de giro.

En algunas aplicaciones que necesitan una precisión de giro muy alta, como las prensas de impresión, se puede montar un rodamiento de rodillos a rótula con mayor precisión de giro con precarga (juego negativo). Según el método de montaje y las condiciones de funcionamiento, estos rodamientos de rodillos a rótula pueden funcionar con una ligera precarga sin riesgo de entrar en una zona de precarga demasiado elevada.

En algunas pasteras, e incluso en algunas fábricas de papel, se pueden encontrar prensas de husillos donde la carga axial la sopor-

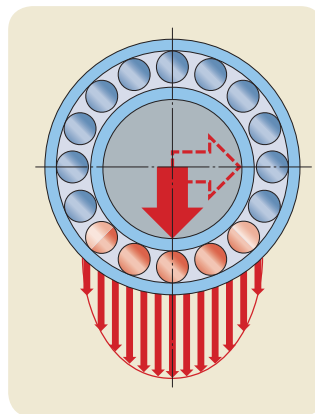


Fig. 5.

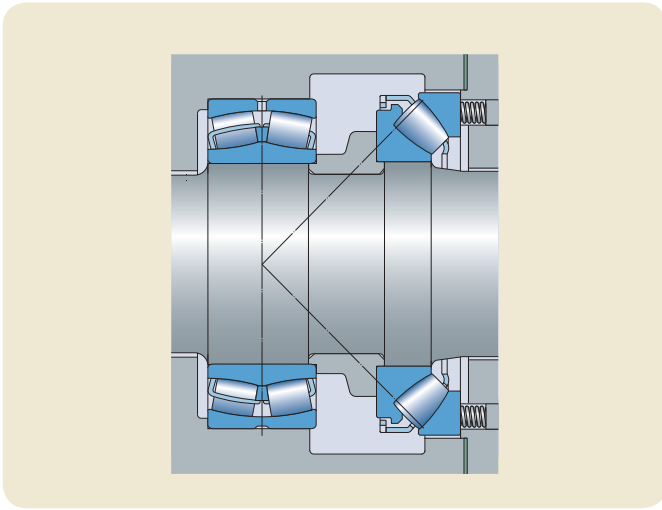


Fig. 6.

ta un rodamiento axial de rodillos a rótula, mientras que la carga radial la soporta un rodamiento radial de rodillos a rótula, montados como se muestra en la **fig. 6, página 4**.

El rodamiento axial está montado, radialmente libre, en el soporte para que no se vea afectado por ninguna carga radial. Cuando se presiona la materia prima, se crea una carga radial giratoria y su magnitud puede ser mayor que la carga radial debido al peso del husillo. El rodamiento de rodillos a rótula está sometido entonces a una carga giratoria en su aro exterior. El aro interior y, por lo tanto, el eje, tendrán cierto desplazamiento radial según el juego interno y si el rodamiento está montado con un ajuste flojo en el soporte. Dependerá también del juego entre el aro exterior y el soporte. Esto hará que el aro interior (arandela del eje) del rodamiento axial experimente un desplazamiento radial y, por consiguiente, también lo hará el aro exterior (arandela del soporte) (→ **fig. 7**).

Esto da lugar a que el aro exterior (arandela del soporte) del rodamiento axial se vea obligado a realizar un movimiento de desgaste contra la superficie de su asiento, hasta un punto que se corresponde con el juego radial interno y la magnitud del ajuste flojo del rodamiento radial. En muchos casos, esto provoca fallas prematuras.

La variación de los caminos de rodadura (precisión de giro) también influye. A modo de información, los rodamientos de rodillos a rótula SKF estándares y los rodamientos de rodillos toroidales CARB hasta 300 mm de diámetro de agujero tienen una precisión de giro P5. Esto es cuatro veces mejor que la norma ISO normal.

Recuerde que la precisión total de giro de una prensa de rodillos, por ejemplo, también depende de otros factores como las formas de los asientos de los rodamientos, las formas de los rodillos, la coaxialidad entre el asiento del rodamiento y la parte del rodillo, la posición del punto de excentricidad máxima del aro interior con respecto al punto de excentricidad máxima del asiento del rodamiento, etc.

## ¿Qué clase de juego elegir?

Un ajuste apretado del rodamiento sobre su asiento y/o en este depende de la intensidad de carga y de su sentido. Un ajuste apretado reduce el juego radial.

En general, aunque no siempre, el aro interior del rodamiento funciona a mayor temperatura que el aro exterior. A mayor velocidad y mayor carga, mayor será la diferencia de temperatura entre el aro interior y el aro exterior. Además, cuanto mayor sea la temperatura

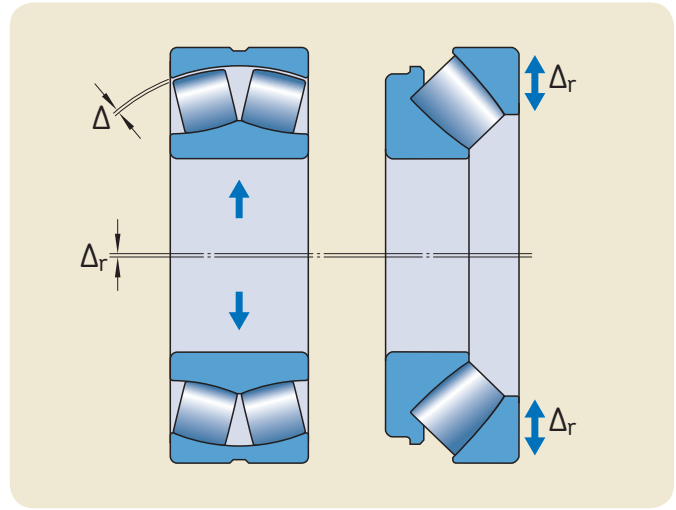


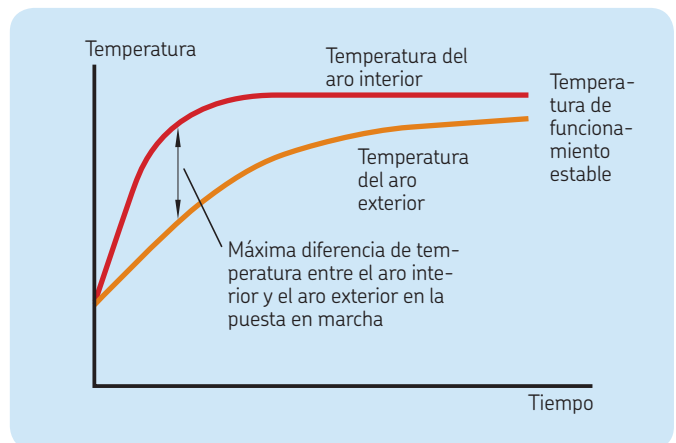
Fig. 7.

de funcionamiento, más se expandirá el diámetro de los rodillos. Esto reduce el juego radial en el rodamiento.

Debe tenerse en cuenta que, durante la puesta en marcha, la temperatura del aro interior aumenta más rápidamente que la del aro exterior. Durante la puesta en marcha, el juego disminuye y, después de un tiempo, aumenta. Dicho esto, se mantiene más pequeño que cuando la máquina está fría. Este fenómeno se acentúa cuando el eje o el muñón se calientan, p. ej., cilindros de secado, calandrias calentadas, Yankees. El **diagrama 1** muestra la diferencia de temperatura entre el aro interior y el aro exterior durante la puesta en marcha.

A modo de ejemplo, si no hubiera puesta en marcha y los rodamientos funcionaran siempre en condiciones estables, la clase de juego C4 no sería una buena opción para los rodamientos de los cilindros de secado. Sería preferible la clase de juego C3 debido a una distribución de carga superior. Para probarlo, basta con observar la zona de carga de un rodamiento montado sobre un cilindro secador. En promedio, tiene un ángulo de 90 a 120°. Esto indica que el rodamiento funciona con demasiado juego a una temperatura de funcionamiento estable. Sin embargo, si se usa un rodamiento con clase de juego C3, existe el riesgo de que se produzca una precarga excesiva porque la diferencia de temperatura entre el aro interior y el aro exterior habría eliminado totalmente el juego durante la puesta en marcha.

Diagrama 1.





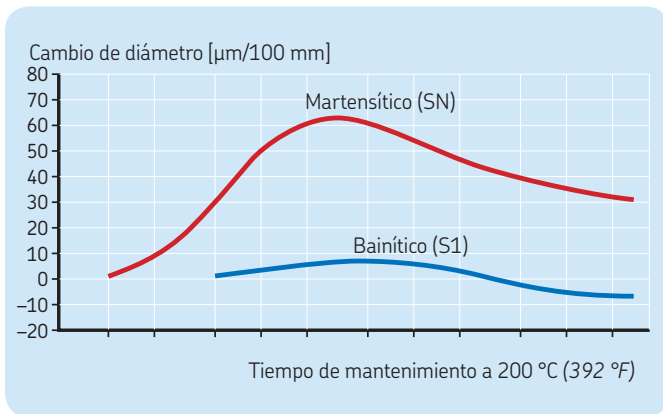


Diagrama 2.

La estabilidad dimensional es otra cuestión importante cuando las temperaturas son elevadas. Se producen cambios estructurales en el acero para rodamientos y se alteran las dimensiones. Los aros con tratamiento térmico martensítico desestabilizados sufren los mayores cambios. Inicialmente se expanden y luego se contraen. El **diagrama 2** muestra la variación del diámetro a 200 °C para el acero martensítico que se había estabilizado para 120 °C y para el acero bainítico estabilizado para 200 °C. Recuerde que todos los rodamientos de rodillos a rótula SKF y los rodamientos de rodillos toroidales CARB se estabilizan para 200 °C.

También deben tenerse en cuenta los procedimientos de montaje del rodamiento y el entorno de la máquina. Si el rodamiento se va a montar con un método de montaje de baja precisión como el de galgas de espesores; si existe la probabilidad de que el rodamiento se engrase en exceso o si la temperatura ambiente varía mucho, entonces será difícil mantener un juego de funcionamiento preciso. Incluso si elige una clase de juego para el rodamiento que da, en teoría, un juego de funcionamiento óptimo, existe el riesgo de que, en realidad, se vea sometido a precarga durante el funcionamiento. Por esta razón, se seleccionan la mayoría de las clases de juego radial y se montan la mayoría de los rodamientos de manera que funcionen con juego, aunque esto no sea lo óptimo desde el punto de vista de la vida a fatiga.

### A propósito

- Nunca insufla aire fresco en un soporte si el rodamiento está sobrecalentado. Puede aumentar la diferencia de temperatura entre los aros interior y exterior, y crear una precarga catastrófica.
- Tenga cuidado si aumenta el flujo de aceite o si vuelve a lubricar cuando un rodamiento está sobrecalentado. Podría tratarse de un sobrecalentamiento debido a un exceso de lubricante.

Elegir la clase correcta de juego puede parecer una tarea complicada si no está especificado por el proveedor de la máquina. En algunos casos, puede ser complicado porque las diferencias de temperatura entre el aro interior y el exterior pueden verse afectadas por la velocidad, la carga, el tipo de lubricación, la refrigeración externa, el material y la geometría del eje, el material y la geometría del soporte, los ajustes, la transferencia de calor e incluso el color del soporte. Sin embargo, para el uso general que representa más del 90% de las aplicaciones, el Catálogo General de SKF proporciona la información. No es sencillo y la solución puede obtenerse después de varias repeticiones:

- 1 Elija el tipo y tamaño de rodamiento en función de las cargas.
- 2 Elija los ajustes correctos en función de las cargas. El Catálogo General de SKF indica si se necesita o no una clase de juego mayor. En un próximo artículo, se brindará información más precisa sobre cómo elegir los ajustes.
- 3 Calcule la nueva velocidad de referencia en función de la carga y la lubricación. También ofreceremos información más precisa sobre este tema en un próximo artículo sobre límites de velocidad.

## Veamos un ejemplo rápido

“Rápido” significa una forma rápida de determinar una clase de juego que permita al rodamiento funcionar sin demasiado juego y sin una precarga peligrosa. No siempre dará la clase de juego óptima. Se necesita un poco de experiencia, pero funciona.

Un rodamiento de rodillos a rótula de un rodillo de fieltro, 22222 EK, gira a 200 r. p. m. y debe soportar una carga muy elevada debido a una nueva tensión del fieltro como resultado de un aumento de la velocidad de la máquina. La carga dinámica equivalente,  $P$ , calculada con la carga axial y radial (estimación basada en la fricción entre el aro exterior y el soporte en la posición libre. Nota: esto no existe si se utilizan rodamientos de rodillos toroidales CARB en la posición libre) es de casi 96 kN. El rodamiento está lubricado con grasa con una viscosidad del aceite base de 220 mm<sup>2</sup>/s a 40 °C.

La capacidad de carga dinámica básica del rodamiento,  $C$ , es igual a 560 kN.

La capacidad de carga estática básica del rodamiento,  $C_0$ , es igual a 640 kN.

Veamos primero lo que indica el Catálogo General de SKF sobre el ajuste en el eje.

Aunque el rodamiento tenga un agujero cónico (sufijo K), es bueno consultar las indicaciones para rodamientos con agujero cilíndrico (→ **tabla 1, página 6**).

$P/C = 96/560 = 0,17$  por lo tanto, el rodamiento está sometido a una carga muy elevada.

El diámetro del agujero del rodamiento es igual a 110 mm. La tabla indica que el ajuste recomendado es p6 y que se recomienda un juego radial mayor que el normal. Por deducción, puede decirse que el rodamiento con agujero cónico debe calarse en su asiento en la mitad superior del rango de calado, para así tener una clase de juego C3.

Ahora, veamos la velocidad de referencia. La velocidad de referencia, que es de 3 000 r. p. m. para el SKF 22222 EK, representa la velocidad, en condiciones de funcionamiento específicas, a la que existe un equilibrio entre el calor generado por el rodamiento y el calor que se disipa. Si el rodamiento funciona en condiciones diferentes a las que se utilizaron para calcular la velocidad de referencia, se deberá calcular una nueva velocidad, denominada “velocidad admisible”. Los rodamientos pueden funcionar por encima de la velocidad admisible en determinadas condiciones, y una de las condiciones es tener una clase de juego mayor. Todo esto corresponde a un rodamiento que funciona a 70 °C.

El factor de corrección depende de la carga y la viscosidad. Para lubricación con grasa:

$$N_{perm} = n_r f_p (f_{vreal} / f_{vISOVG150})$$

## Rodamientos radiales con agujero cilíndrico

Condiciones	Ejemplos	Diámetro del eje en mm				Clase de tolerancia
		Rodamientos de bolas <sup>1)</sup>	Rodamientos de rodillos cilíndricos	Rodamientos de rodillos cónicos	Rodamientos CARB y rodamientos de rodillos a rótula	
<b>Carga giratoria en el aro interior o dirección indeterminada de la carga</b>						
Cargas ligeras y variables ( $P \leq 0,05 C$ )	Cintas transportadoras, rodamientos para cajas de engranajes con cargas ligeras	$\leq 17$	–	–	–	js5 (h5) <sup>2)</sup>
		(17) a 100	$\leq 25$	$\leq 25$	–	j6 (j5) <sup>2)</sup>
		(100) a 140	(25) a 60	(25) a 60	–	k6
		–	(60) a 140	(60) a 140	–	m6
Cargas de normales a pesadas ( $P > 0,05 C$ )	Aplicaciones de rodamientos en general, motores eléctricos, turbinas, bombas, engranajes, máquinas madereras, molinos de viento	$\leq 10$	–	–	–	js5
		(10) a 17	–	–	–	j5 (js5) <sup>2)</sup>
		(17) a 100	–	–	< 25	k5 <sup>3)</sup>
		–	$\leq 30$	$\leq 40$	–	k6
		(100) a 140	(30) a 50	(30) a 50	de 25 a 40	m5
		(140) a 200	–	(40) a 65	–	m6
		–	(50) a 65	–	(40) a 60	n5 <sup>4)</sup>
		(200) a 500	(65) a 100	(65) a 200	(60) a 100	n6 <sup>4)</sup>
–	(100) a 280	(200) a 360	(100) a 200	p6 <sup>5)</sup>		
–	> 500	–	–	p7 <sup>4)</sup>		
–	–	(280) a 500	(360) a 500	(200) a 500	r6 <sup>4)</sup>	
–	–	> 500	> 500	> 500	r7 <sup>4)</sup>	
De cargas pesadas a muy pesadas y cargas de choque con condiciones de funcionamiento difíciles ( $P > 0,1 C$ )	Cajas de engranajes para vehículos ferroviarios pesados, motores de tracción, laminadores	–	(50) a 65	–	(50) a 70	n5 <sup>4)</sup>
		–	(65) a 85	(50) a 110	–	n6 <sup>4)</sup>
		–	(85) a 140	(110) a 200	(70) a 140	p6 <sup>6)</sup>
		–	(140) a 300	(200) a 500	(140) a 280	r6 <sup>7)</sup>
		–	(300) a 500	–	(280) a 400	s6 <sub>min.</sub> ± IT6/26 <sup>8)</sup>
–	> 500	> 500	> 400	s7 <sub>min.</sub> ± IT7/26 <sup>8)</sup>		
Altas exigencias sobre la precisión de giro con cargas ligeras ( $P \leq 0,05 C$ )	Máquinas herramienta	8 a 240	–	–	–	js4
		–	25 a 40	25 a 40	–	js4 (j5) <sup>9)</sup>
		–	(40) a 140	(40) a 140	–	k4 (k5) <sup>9)</sup>
		–	(140) a 200	(140) a 200	–	m5
		–	(200) a 500	(200) a 500	–	N5
<b>Carga fija sobre el aro interior</b>						
Fácil desplazamiento axial del aro interior en el eje: deseable	Ruedas sobre ejes fijos					g6 <sup>10)</sup>
Fácil desplazamiento axial del aro interior en el eje: innecesario	Poleas tensoras, poleas para cuerdas					h6
<b>Cargas puramente axiales</b>						
	Aplicaciones de rodamientos de todo tipo	$\leq 250$	–	$\leq 250$	$\leq 250$	j6
		> 250	–	> 250	> 250	js6

<sup>1)</sup> Para rodamientos de bolas con carga normal a pesada ( $P > 0,05 C$ ), a menudo se requiere un juego radial superior al normal cuando se aplican las clases de tolerancia del eje de la tabla anterior. En ocasiones, las condiciones de trabajo requieren ajustes más apretados para evitar que los aros interiores de los rodamientos de bolas giren (se deslicen) sobre el eje. Si se selecciona el juego adecuado, en la mayoría de los casos superior al normal, se pueden emplear las siguientes tolerancias:

- k4 para diámetros del eje de 10 a 17 mm
- k5 para diámetros del eje de (17) a 25 mm
- m5 para diámetros del eje de (25) a 140 mm
- n6 para diámetros del eje de (140) a 300 mm
- p6 para diámetros del eje de (300) a 500 mm

Para obtener más información, comuníquese con el Departamento de Ingeniería de Aplicaciones de SKF

<sup>2)</sup> La tolerancia entre paréntesis se aplica a los rodamientos de acero inoxidable

<sup>3)</sup> Para los rodamientos de acero inoxidable dentro del rango de diámetros de 17 a 30 mm, se aplica la clase de tolerancia j5

<sup>4)</sup> Podría ser necesario usar rodamientos con un juego radial interno superior al normal

<sup>5)</sup> Se recomienda el uso de rodamientos con juego radial interno superior al normal para  $d \leq 150$  mm. Para  $d > 150$  mm, podrían ser necesarios rodamientos con un juego radial interno superior al normal

<sup>6)</sup> Se recomienda el uso de rodamientos con juego radial interno superior al normal

<sup>7)</sup> Podría ser necesario usar rodamientos con un juego radial interno superior al normal. Para los rodamientos de rodillos cilíndricos, se recomienda un juego radial interno superior al normal

<sup>8)</sup> Para los valores de tolerancia, consulte el Catálogo Interactivo de Ingeniería de SKF en línea, en [www.skf.com](http://www.skf.com) o en el servicio de ingeniería de aplicaciones de SKF

<sup>9)</sup> La tolerancia entre paréntesis se aplica a los rodamientos de rodillos cónicos. Para los rodamientos de rodillos cónicos con cargas ligeras ajustados mediante el aro interior,

se debe utilizar js5 o js6

<sup>10)</sup> La tolerancia f6 puede seleccionarse para rodamientos de gran tamaño a fin de simplificar el desplazamiento

**Tabla 1. Ajustes para ejes de acero macizo**  
Tabla del Catálogo General de SKF 6000/1.

Para determinar si se necesita una clase de juego mayor para el SKF 22222 EK, se necesita el **diagrama 3, página 7**.

$d_m$  = diámetro medio del rodamiento =  $0,5 (d+D)$  [mm]  
 $d$  = diámetro del agujero [mm]  
 $D$  = diámetro exterior [mm]

Para el rodamiento 22222:  $d_m = 0,5 (110+200) = 155$  mm.

Del diagrama,  
 con  $d_m = 155$  mm y  $P/C_o = 0,15$ ,  
 $f_p = 0,53$  y con  $P/C_o = 0,15$  y ISO VG 220,  
 $f_{vreal} = 0,83$ ; con  $P/C_o = 0,15$  y ISOVG150,  $f_{vISOVG150} = 0,87$ .  $\Rightarrow$   
 $n_{perm} = 3\ 000 \times 0,53 \times 0,83 / 0,87 = 1\ 520$  r. p. m.

Como la velocidad de giro del rodamiento es de 200 r. p. m. y es inferior a 1 520 r. p. m., no es necesario seleccionar una clase de juego mayor que la seleccionada después de consultar el ajuste.

Se elige el 22222 EK/C3.

Si no está seguro, llame a SKF. Los ingenieros de aplicaciones de SKF tienen a disposición herramientas mucho más precisas para seleccionar la clase de juego adecuada.

## Preguntas más frecuentes:

### ¿Puedo elegir un rodamiento con una clase de juego mayor?

En aplicaciones generales, como ventiladores, y en la mayoría de las aplicaciones para la fabricación de papel, se puede elegir un rodamiento con una clase de juego mayor, y esto no tendrá ninguna influencia significativa en la vida útil del rodamiento ni en las condiciones de funcionamiento de la máquina. De todos modos, es mejor tener una máquina que funcione con un rodamiento que no tiene la clase de juego correcta que tener una máquina parada.

Tenga presente utilizar la clase de juego que se recomienda normalmente en el siguiente cambio de rodamientos. Muchos mecánicos seleccionan un rodamiento de repuesto en función de la designación del rodamiento desmontado. Si han utilizado dos veces un rodamiento con un juego mayor, la máquina puede funcionar con un rodamiento C4 en lugar del rodamiento CN que se supone que necesita.

Con un rodamiento de rodillos toroidales CARB, un método simple, si lo permite la máquina, es crear un determinado desplazamiento axial de los aros para reducir el juego interno.

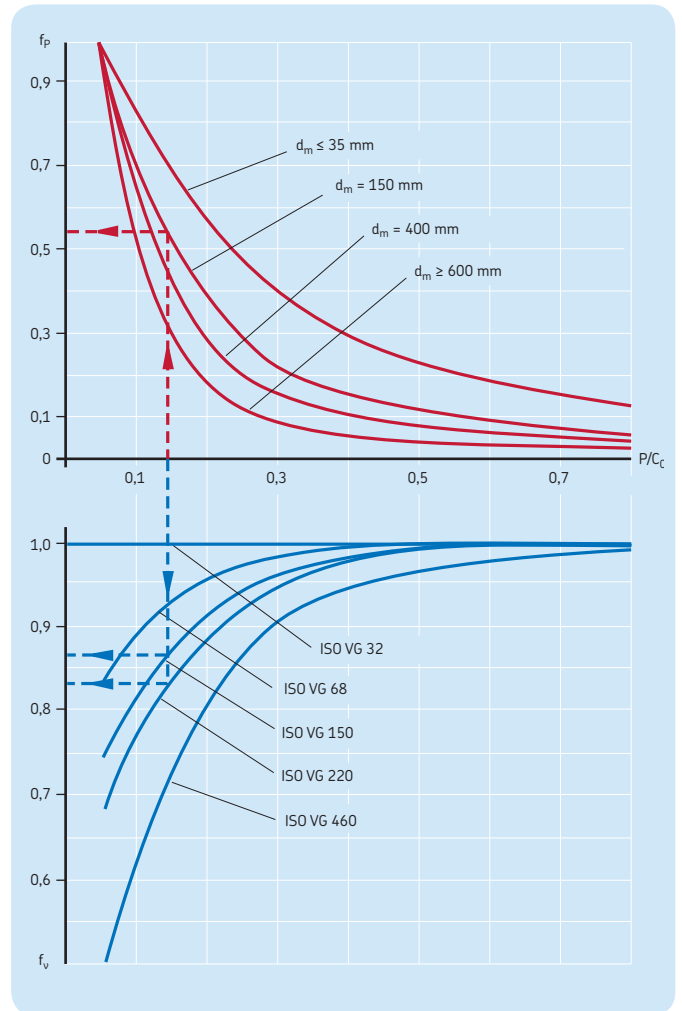
### ¿Puedo elegir un rodamiento con una clase de juego menor?

No, no es aconsejable, sin un estudio técnico previo, sustituir un rodamiento con otro con una clase de juego menor debido al riesgo de que se produzca una precarga excesiva durante el funcionamiento.

Una solución radica en aumentar el juego del rodamiento disponible mediante la reducción del diámetro del (de los) camino(s) de rodadura del aro interior. Según dónde y cómo se haga, puede disminuir el rendimiento del rodamiento (fricción, precisión de giro, vida a fatiga) y quedar muy diferente a los parámetros de diseño originales de SKF.

### ¿La precisión de giro de un rodamiento C3 es mejor que la de un rodamiento C4?

La precisión de giro no depende de la clase de juego.



**Diagrama 3. Factores de ajuste  $f_p$  y  $f_v$  para rodamientos radiales de rodillos.**

Los rodamientos 22320 E, 22320 E/C3 y 22320 E/C4 estándares de SKF tienen todos una precisión de giro P5 (cuatro veces mejor que la clase de precisión de giro normal según ISO). Pero, como se indica en la **página 3**, el juego de funcionamiento residual puede influir en la precisión de giro general.

También es importante comprender que un rodamiento C4 puede funcionar con menos juego interno de funcionamiento residual que un rodamiento C3. Depende de las condiciones de funcionamiento y del modo en que se montó rodamiento.

Un rodamiento con un juego radial cercano al valor máximo de la clase C3, montado con un ajuste muy flojo, puede tener un juego radial, después del montaje, con un juego residual mayor que un rodamiento C4, cuyo juego esté cercano al valor mínimo de la clase C4 montado con un ajuste muy apretado.

- 22320 EK/C3: el juego radial está entre 0,110 y 0,140 mm
- 22320 EK/C4: el juego radial está entre 0,140 y 0,180 mm

Tomemos un 22320 EK/C3 que tiene un juego radial de 0,135 mm y un 22320 EK/C4 que tiene un juego radial de 0,145 mm. La reducción del juego recomendada se encuentra entre 0,045 y 0,060 mm.

- Si el 22320 EK/C3 tiene una reducción del juego de 0,045 mm, el juego residual después del montaje será igual a 0,090 mm.

- Si el 22320 EK/C4 tiene una reducción del juego de 0,060 mm, el juego residual después del montaje será igual a 0,085 mm.

Esto, por supuesto, no sucede con mucha frecuencia y, estadísticamente, los rodamientos C3 tienen menos juego residual después del montaje que los rodamientos C4. El propósito de esta demostración era mostrar que esto no siempre es así.

**La lista de rodamientos en el depósito indica que necesito 22320 EK y 22320 EK/C3. ¿Puedo almacenar solamente la versión C3?**

La respuesta es: ¿por qué no? En algunos casos, especialmente para los rodamientos con un nivel de carga bajo o medio, el aumento del juego de CN a C3 tiene poco efecto sobre la vida útil y la precisión de giro o se encuentra dentro de límites aceptables. La decisión debe tomarse caso por caso. No hay ninguna regla general.

**¿Influye la lubricación en la elección de la clase de juego?**

La respuesta es afirmativa, ya que según el lubricante (grasa o aceite, viscosidad) y la cantidad de lubricante, la temperatura del rodamiento será diferente y la diferencia de temperatura entre el aro interior y el aro exterior será diferente.

Por lo tanto, puede ser riesgoso cambiar de baño de aceite a lubricación con grasa debido a fugas de aceite no deseadas. El Catálogo General de SKF ofrece suficiente información para la mayoría de los casos.

**Mi máquina vibra demasiado, ¿debería elegir un rodamiento con menos juego?**

Es raro que el juego sea la causa de las vibraciones. Montar un rodamiento con un juego menor no eliminará la causa. Se debe inves-

tigar la causa de las vibraciones. Entonces, una vez que se sabe bien la causa, se pueden tomar medidas correctivas.

Además, montar un rodamiento con un juego menor puede ser riesgoso y crear fallas prematuras debido a una precarga excesiva.

**Conclusión**

Espero que este artículo sirva para aclarar lo que es la clase de juego y cómo influye en las condiciones de funcionamiento. Elegir la clase de juego adecuada para un rodamiento no siempre es sencillo, ya que depende de varios parámetros como los ajustes del eje y del soporte, la velocidad y la lubricación. En un próximo artículo, examinaremos estos temas con más detalle. Mientras tanto, en todos los casos, SKF puede brindarle asistencia.

*Philippe Gachet es un ingeniero de aplicaciones de SKF que ha estado trabajando para la industria pesada, específicamente para la de celulosa y papel, desde 1990. Se lo puede contactar escribiendo a la dirección philippe.gachet@skf.com*



# El caso de la rodadura interior partida

En una fábrica de Nueva Inglaterra, a principios de la década del ochenta, la máquina de papel de impresión y escritura simplemente se “estropeó”. Cuando llegó Sam, el director de ingeniería y mantenimiento, comprobó que había fallado al menos un rodamiento trasero de la secadora y varios engranajes tenían dientes partidos. En una palabra, la situación era complicada.

El problema inmediato era lograr que la máquina volviera a funcionar lo antes posible, por lo que se elaboró un plan para comenzar las reparaciones y no interrumpirlas hasta finalizar el trabajo. Unas cuarenta y dos horas más tarde, la máquina arrancó y funcionó con éxito. Esa era solo una parte de la historia; ahora tocaba la sesión de resolución de problemas.

El Uptimeam, un grupo de personas a quienes se les asignó la tarea de resolver los problemas ocurridos para que no se repitieran dentro de sus respectivas áreas operativas, comenzó a realizar la evaluación preliminar de los acontecimientos en torno al incidente. El Uptimeam es un equipo operativo rudimentario y polifacético con un objetivo: eliminar los incidentes con tiempo perdido recurrentes.

Por lo general, el “líder” del equipo es el Director de Operaciones (Ted, en este caso) del departamento. De no ser así, el líder del equipo debe tener ese nivel de autoridad y de toma de decisiones. El “facilitador” del equipo es el Ingeniero de Mantenimiento o de Confiabilidad del área operativa correspondiente. Por lo general, un Planificador de Mantenimiento (Hank) y el Encargado de Mantenimiento del área (Bob) también son miembros.

Los trabajos de ingeniería están representados por el Ingeniero de Área (Terry). También se pide la asistencia de otros departamentos, como el de Compras y Personal, según sea necesario, por ejemplo, si están involucrados proveedores o temas de formación. En esta reunión particular, Sam también estuvo presente.

El Ingeniero de Mantenimiento (Jim) había recopilado todos los datos fácticos disponibles y procedió a entregar esa información a los otros líderes de equipo. Esta información se muestra en una tabla sencilla. Las preguntas básicas fueron: Qué, Cuándo, Dónde, Por qué, Quién y Cómo. Sin embargo, la pregunta fundamental, una vez determinada la causa, es: “¿qué se puede hacer para evitar que esto vuelva a suceder?”.



Se determinó que la falla del rodamiento trasero número 10 de la secadora se había producido pocos minutos después del arranque de la máquina, después de un mantenimiento planificado y de la parada de la máquina de revestimientos. El rodamiento de la secadora había fallado por completo. Los pedazos, que se convirtieron en residuos en el tren de engranajes, hicieron que los dientes de estos engranajes fallaran.

El rodamiento de la secadora había sido lubricado; resultaba evidente por el aceite que seguía fluyendo. Los rodillos y el aro externo se habían destruido de tal manera que no pudieron utilizarse para una evaluación; sin embargo, la rodadura interior todavía seguía unida al eje de la secadora, después de la falla.

La rodadura interior evidenciaba sobrecalentamiento y, lo más importante, había una grieta a lo largo de la rodadura. Esta fue la pista clave para determinar el modo en que se había producido la falla.

Jim se puso en contacto con el fabricante del rodamiento y, después de analizarlo con uno de sus ingenieros de aplicaciones, se enteró de que esta grieta era una prueba sólida de fatiga térmica que da lugar a la falla.

Jim, con la ayuda del ingeniero de la fábrica de rodamientos, interpretó que el rodamiento había sufrido un recalentamiento grave justo antes de fallar. Un dato fue la grabación del “ruido” (vibración) que hacía el rodamiento, registrado justo antes de la parada. Este era el procedimiento operativo estándar para cada parada programada de la máquina. No se sospechaba que ese rodamiento en particular ni que el tren de engranajes vecino tuvieran problemas en función de las “buenas” lecturas tomadas en el momento.

Estos fueron los datos presentados en la reunión del Upteam. El análisis posterior fue dirigido por Ted.

“¿De dónde podría venir el sobrecalentamiento?”, preguntó Ted, a nadie en particular y a todos los presentes a la vez.

“Bien”, comenzó Bob, “si no había aceite en el rodamiento, el frotamiento de las superficies metálicas unas con otras generaría mucho calor, precipitadamente”.

“¿Llegaba aceite al rodamiento?”, preguntó Ted.

Bob respondió: “Sí, de hecho, todavía teníamos flujo de aceite hacia el rodamiento después de la falla”.

“Entonces, ¿el problema es el suministro de aceite?”, preguntó Ted, irritado.

“Podría ser, algunas veces”, respondió Bob.

“¿Cómo podemos asegurarnos de que el suministro de aceite funciona?”, preguntó Ted, directamente a Bob.

“Primero, el engrasador de la máquina”, respondió Bob.

“¿Estaba vigilando el sistema de aceite?”.

“Siempre lo hace, y esta vez también, hasta donde yo sé”.

“¿Qué se puede hacer para estar absolutamente seguros de que está fluyendo el suministro de aceite a todos los rodamientos?”, preguntó Ted.

“Supongo que algún tipo de indicación o alarmas de flujo, o algo así, aunque no creo que ese sea el problema”, respondió Bob.

Sam se involucró en la discusión: “No seas susceptible; esto no es una caza de brujas ni mucho menos un dedo acusador. Estamos aquí para encontrar la causa, una solución y evitar que esto vuelva a suceder. No vamos a perder el tiempo culpando a otros, haciendo acusaciones o cubriéndonos a nosotros mismos. ¿Está claro?”.

“Sí”, respondió Bob, y los demás también asintieron con la cabeza.

“De acuerdo, entonces si pudiéramos poner una alarma para la pérdida de flujo de aceite, podríamos tener una indicación de esa causa en particular y se eliminarían las fallas, ¿es correcto?”. Después de que todos asintieran con la cabeza, Ted continuó: “Jim, tome nota de esto para asignarle un seguimiento; quiero que Terry lo haga y que vea lo que hay disponible en alarmas de este tipo”.

Se dirigía a Jim, quien era el responsable de registrar y hacer el seguimiento junto a otros del grupo a quienes se les asignarían tareas.

“¿Cuál es el procedimiento normal de puesta en marcha de esta máquina?”, preguntó al Encargado de máquinas, allí presente.

“Bien, hacemos girar las secadoras tan pronto como nuestro personal y el personal de mantenimiento nos dicen que está todo en orden. Normalmente, eso significa que ya se han quitado todos los seguros de la turbina”.

“¿Y a continuación?”, continuó Ted.

“Abrimos las válvulas de vapor del suministro para la secadora para calentar las secadoras”, respondió el Encargado de máquinas.

“Creo que eso es parte del problema”, interrumpió Bob.

“¿Por qué?”, preguntó Ted.

“Bueno, el aceite realmente no se calienta antes de que el vapor llegue a las secadoras. Solo puede estar a 80 o 90 °F [26–32 °C] y es espeso, como melaza hasta que se calienta a su temperatura de funcionamiento. Esa es la mayor parte del trabajo de los engrasadores durante el arranque: ir ajustando los flujos por todos los sitios hasta que el aceite y la tubería se calientan y se estabiliza el flujo de aceite. De hecho, es un auténtico sufrimiento para los engrasadores”.

“¿Qué más?”, preguntó Ted.

“Cuando el vapor llega a las secadoras, está caliente, y el vapor llega directamente al agujero del eje de la parte trasera”, respondió Bob. “Todo ese calor a la vez, sin refrigeración, tiene que causar algún problema”.

“¿Qué temperatura tiene el vapor en este punto?”, preguntó Ted, mirando a todos los presentes.

Terry respondió: “Creo que serán unos 300 °F [149 °C], y probablemente esté sobrecalentado debido a que no enfriamos hasta después de conseguir suficiente retrocondensación de las secadoras para hacer funcionar los refrigeradores”.

“¿Me quiere decir que, durante el arranque, calentamos el metal hasta unos 300 °F y después lo sometemos al aceite frío a unos 80 a 90 °F?”.

“No siempre”, sugirió Terry, “solo después de paradas largas como esta, cuando se corta el suministro de aceite y el acero se enfría hasta temperatura ambiente, más o menos. Normalmente, en función del trabajo que estemos haciendo en la máquina, dejamos el sistema de aceite en funcionamiento y el metal no se enfría tan rápido”.

“¿Y la temperatura del aceite?”.

“Bien, el calentador para el aceite es una serpentina de vapor y, cuando la turbina está inactiva, tampoco tenemos suministro de vapor para el calentador. Hemos tenido que hacer algunas modificaciones en el sistema de calefacción porque requiere mucho mantenimiento”, respondió Bob.

→

“A ver si lo entiendo bien, primero no calentamos el aceite cuando la máquina está inactiva, que es cuando el aceite necesita calefacción. Después activamos el vapor sobrecalentado para las secadoras antes de que el aceite pueda utilizarse para refrigerar y, por supuesto, lubricar. Luego, el engrasador tiene que apresurarse y tratar de mantener algún tipo de flujo de aceite, sin inundar los soportes de los rodamientos, mientras que la máquina se calienta. Entonces, finalmente, después de un par de horas, el aceite se calienta hasta la temperatura de funcionamiento. Y empezamos a enfriar el vapor después de conseguir suficiente retrocondensación desde las secadoras. ¿Es todo eso correcto?”, preguntó Ted, con una expresión de gran desconfianza, a todas las cabezas que asientan.

“De acuerdo, entonces, ¿qué vamos a hacer para remediar esta comedia de errores?”, pregunta.

“Podríamos poner manguitos aislantes en todos los ejes de la parte trasera para reducir el calor”, sugiere Terry.

“¿Cuánto costará y cuánto tardaríamos en hacerlo?”.

“Mucho dinero y mucho tiempo. Habría que reajustar cada una de las secadoras; creo que es algo imposible”.

“¿Otra sugerencia?”.

“Podríamos poner calentadores eléctricos en el tanque del sistema de aceite para mantener la temperatura de funcionamiento incluso cuando estamos en parada”.

“¿Cuánto costará y cuánto tardaríamos en hacerlo?”.

“No debería costar demasiado, unos miles de dólares, no sé el tiempo de instalación, tendríamos que vaciar el depósito. Estudiaré eso”, aventuró Terry.

“Bien, tome nota, Jim, y quiero un seguimiento a finales de mes”, agregó Ted. “¿Qué más?”.

“Ya sabe”, empezó Sam, “en otra empresa en la que trabajé teníamos bucles de calentamiento en el sistema de circulación de aceite para permitir que el aceite circule en los cabezales antes del arranque. Ayudaba al flujo de aceite durante el arranque, mantenía el calor en muchas tuberías para que los engrasadores no tuvieran que estar corriendo de aquí para allá durante el arranque. ¿Tal vez podríamos hacer algo como eso en esta máquina? Solo se necesita una pequeña modificación en las tuberías, conexiones y válvulas entre el cabezal de presión y la línea de drenaje”.

“¿Se propone como voluntario?”, preguntó el líder del Uptimeam.

“Por supuesto, voy a hacer algunas preguntas y preparar un presupuesto para la próxima reunión”, respondió Sam.

“Bien, ¿alguna otra sugerencia?”.

“Este problema del vapor sobrecalentado debe ser fácil de resolver”, sugirió Terry, “podríamos guardar suficiente condensado para el arranque en lugar de tirarlo o bien podríamos traer agua desmineralizada desde la planta de vapor para refrigerar. La solución no está tan lejos, lo estudiaré”.

“Genial, ahora estamos haciendo las cosas bien”.

“Creo que podríamos analizar nuestro procedimiento de arranque”, comentó el Encargado de Máquinas, “podríamos comprobar con el engrasador para verificar si está todo listo antes de abrir el vapor. Voy a hacer esos cambios en nuestro procedimiento”.

“¿Algo más?”, preguntó el líder del Uptimeam. Nadie más respondió.

“Entonces planifiquemos la próxima reunión para el miércoles 23, a las 13:00, aquí mismo. ¿Les parece bien? Tengan listos los informes de su parte de la solución”.

Este proceso de resolución de problemas puede no parecer gran cosa, pero lo fue para esta planta papelera. Ahora tienen un sistema para hacer frente a las pérdidas de producción y las paradas no planificadas que incluye más de un punto de vista, y más de una persona pensando en un problema en particular. Un proceso simple que desarrolla un plan y hace el seguimiento sobre cada elemento de ese plan. ¿Qué más podría esperar el Director de una fábrica?

Las soluciones requieren tiempo, pero lo importante de este procedimiento es el seguimiento. El Ingeniero de Mantenimiento es el facilitador, el programador, el responsable de asegurarse de que se respeten las ideas y las tareas. Por supuesto, cuenta con el apoyo del Líder del equipo y de sus miembros.

La clave es erradicar con éxito un problema recurrente. Un problema erradicado es la recompensa para seguir con el proceso otra vez.

*John Yolton está por cumplir 46 años en la industria. Experto veterano de la fabricación de celulosa y papel, que también ha viajado mucho, Yolton actualmente ayuda a clientes internacionales de la industria papelera con estrategias para la mejora de la confiabilidad de activos. Se lo puede contactar escribiendo a la dirección [john.yolton@skf.com](mailto:john.yolton@skf.com).*



Segmento Global Celulosa y Papel SKF

Contacto/Editor responsable  
[philippe.gachet@skf.com](mailto:philippe.gachet@skf.com)

© SKF, CARB y SensorMount son marcas registradas del Grupo SKF.

© Grupo SKF 2011

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 11147/1 ES · Septiembre 2011