

Rodamientos para la industria del papel

Productos · Servicios · Diseño · Dimensionado

A Partnership in Paper

Ofrecemos un completo programa para fábricas de papel, que complementa nuestra red de Distribuidores.

Estamos comprometidos con la industria de la Pulpa y el Papel para garantizar unos procesos de calidad total desde su inicio hasta el final.

Nuestro concepto total de 10 puntos, desde la entrada del pedido hasta el mantenimiento proactivo, conlleva ahorro de costes de forma continua.

1. Innovación y calidad
2. Recursos y apoyo globales
3. Productos
4. Revisión de existencias
5. Gestión del stock
6. Programas de formación
7. Servicio Técnico
8. Mantenimiento proactivo
9. Comunicación
10. Ahorro documentado

Rodamientos para la industria del papel

Productos · Servicios · Diseño · Dimensionado

Publ. WL 13 103/2 SB

Contenido

1	Productos y servicios FAG para la industria del papel (vista general)	3
1.1	Rodamientos estándar	4
1.2	Productos especiales	5
1.3	Gama de servicios	5
1.4	Sufijos, especificaciones técnicas	6
2	Requisitos para los rodamientos de las máquinas papeleras	7
3	Ejemplos de disposiciones de rodamientos en máquinas papeleras	8
3.1	Sección húmeda	8
3.1.1	Rodillos formadores	9
3.1.2	Rodillos aspiradores	10
3.1.3	Rodillos prensa centrales	12
3.1.4	Rodillos anti-flexión	13
3.2	Sección de secado	14
3.2.1	Rodillos guía	14
3.2.2	Cilindros secadores	16
3.3	Calandra y grupo de acabado	18
3.3.1	Calandra suave	18
3.3.2	Rodillos extensores	20
4	Servicio FAG para un funcionamiento más seguro .	21
4.1	Almacenaje de rodamientos	21
4.2	Preparaciones para el montaje y el desmontaje	21
4.3	Montaje y desmontaje en superficies cilíndricas y cónicas	21
4.4	Ajustes y tolerancias	23
4.5	Monitorización y análisis de rodamientos	26
4.6	Programas PC para el cálculo y el dimensionado de rodamientos	28
4.7	Servicio FAG de montaje	28
4.8	Cursos FAG de formación	28
4.9	Selección de publicaciones	29
5	Dimensionado y lubricación de rodamientos	30
5.1	Dimensionado	30
5.2	Lubricación	32
5.2.1	Lubricación con grasa	32
5.2.2	Lubricación con aceite	34
6	Tablas	38
6.1	Conversión	38
6.2	Juego radial, reducción del juego radial	39

1 Productos y servicios FAG para la industria del papel

FAG ofrece un amplio programa de productos y servicios para la industria del papel.

En esta industria, la demanda de rodamientos se enfoca hacia los rodamientos estándar, es decir, a rodamientos con dimensiones principales estandarizadas.

En la preparación de la pulpa se encuentran, por ejemplo, rodamientos oscilantes de rodillos o rodamientos de rodillos cilíndricos. El tipo de rodamiento dominante en la fabricación de papel es el rodamiento oscilante de rodillos. En las instalaciones y aparatos secundarios (motores, reductores, ventiladores, bombas, etc.) pueden verse rodamientos rígidos a bolas, rodamientos a bolas de contacto angular y rodamientos de rodillos cónicos. En las secciones de transformación y de acabado son típicas las versiones estándar de los rodamientos oscilantes de rodillos, rodamientos a bolas de contacto angular y rodamientos de rodillos cilíndricos. FAG suministra también accesorios y los soportes apropiados para los rodamientos estándar.

Rodamiento oscilante de rodillos para la industria del papel



Los rodamientos oscilantes de rodillos con un diámetro exterior > 320 mm son particularmente habituales en estas máquinas y están recogidos en FAG Paper Scope. Ello debería mejorar la disponibilidad del producto, especialmente para la demanda de piezas de repuesto de las fábricas de papel. FAG Paper Scope contiene exclusivamente los productos que son importantes en la industria del papel, pero que no son requeridos de forma regular y que tienen unos niveles de utilización que varían ampliamente. Estos son los rodamientos oscilantes de rodillos de las habituales series 230, 231, 232 y 239 con la variedad de diseños y ejecuciones típicas en la industria del papel, por ejemplo:

- Agujero cilíndrico y cónico
- Juego radial aumentado (C3 o C4)
- Precisión de rotación incrementada (T52BW) con un coeficiente de velocidad de $n \cdot d_m > 250\,000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$
- Agujeros de lubricación en el anillo interior (H140)
- Anillo interior cementado (W209B) para cilindros secadores y rodillos de calandras

La tendencia en el sector, para las modernas máquinas, va hacia las ejecuciones C3/C4, H140, T52BW y W209B.

Rodamiento de rodillos cilíndricos de dos hileras, autoalineable



FAG ha elaborado, además, un programa especial con el que otras funciones más complejas del rodamiento se pueden tratar de forma más segura y económica. Esto incluye los rodamientos de rodillos cilíndricos autoalineables, los rodamientos partidos oscilantes de rodillos, los rodamientos de tres anillos y los soportes especiales.

La oferta de FAG se completa con diferentes productos para el montaje, el mantenimiento y el diagnóstico, el servicio de montaje y desmontaje, el asesoramiento técnico para cada aplicación, los cursos de formación, los programas de cálculo para PC y las publicaciones y catálogos técnicos.

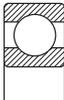
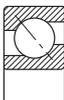
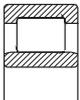
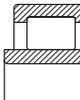
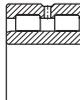
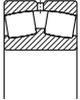
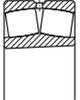
Se puede encontrar una vista general de los productos y servicios de FAG para la industria del papel en las tablas de las páginas 4 y 5.

La tabla de la página 6 contiene una relación de los sufijos y de las especificaciones técnicas más importantes.

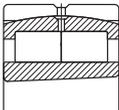
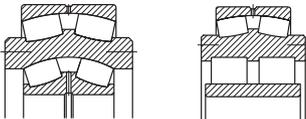
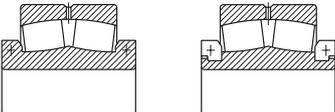
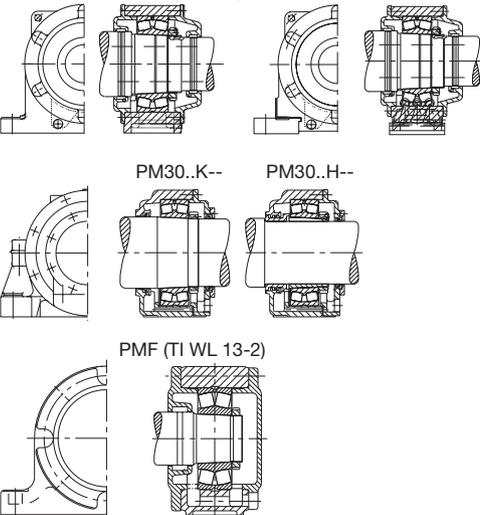
Productos y servicios para la industria del papel

Rodamientos estándar, soportes y accesorios

1.1 Rodamientos estándar, soportes y accesorios (Catálogo WL 41 520/3 SB)

Tipo de rodamiento	Serie de rodamiento/ejecución/tamaño	Aplicación
Rodamientos rígidos a bolas 	618...C3 (d 300...700) 619...C3 (d 140...260) 62.. (d 60...160) 160.. (d 60...160)	Poleas Rodillos extensores Motores, reductores Agitadores/mezcladores, ventiladores
Rodamientos a bolas de contacto angular 	73.. (d 100...200) 72.. (d 100...200)	Tamices presurizados Pulpers Bombas, reductores Bobinadoras, enrolladoras
Rodamientos de rodillos cónicos 		Tamices presurizados Pulpers, transmisiones intermedias, bombas, reductores, Rodillos frontales - Rodamientos axiales
Rodamientos de rodillos cilíndricos   	NU30../NU10.. (d 200...350) NU23.. (d 50..140) NUB2../3.. (d 50...140) NU/N30..C5.M17D.T27 (d 180...710) NU/N31..C5.M17D.T27 (d 180...710) NNU49.. (d 50...150) FAG 5...	Refinos Rodillos guía, Rodillos guía Cilindros secadores, cilindros M.G. Rodamientos de enrolladoras Rodillos onduladores Reductores, pulpers
Rodamientos oscilantes de rodillos  	240/241.. (d 120...220) 230..(K).MB.C3.T52BW.(H40AB/H40AC o H140) (d 360...710) 239..(K).MB.C3.T52BW.(H40AB/H40AC o H140) (d 440...950) 231..K.MB.C3 (d 440...950) 223/222..EK.C3 (d 50...180) 232..EA(S)K.M.C3 (d 110...180) 230/231/232..K.MB.C3 (d 200...560) 230/239/(248)..MB.T52BW.(H40AB/H40AC o H140) 230/239/(248)..MB.C3.T52BW.(H40AB/H40AC o H140) (d 200...850) 230/231..MB.(C3).(C4) (d 150...260) 232..K.MB.C4.T52BW 231..K.MB.C4.T52BW (d 420...560) 230/231..K.MB.C4 (W209B) (d 180...300) 230/231..K.MB.C4 (W209B) (d 320...710) 231..K.MB (d 50...150) 240..SK30.MB.C4.T52BW (d 140...160)	Rodillos de succión, rodamientos de soportes Rodillos de succión, lado operativo Rodillos de succión, lado transmisión Rodillos guía Rodillos prensa Rodillos anti-flexión Rodillos de calandra Rodillos de calandra suave Cilindros secadores Cilindros M.G. Rodamientos de enrolladoras Rodillos onduladores Pulpers, refinos, trituradoras, molinos, tamices presurizados, Descortezadoras de tambor, (Rodillos de apoyo)

1.2 Productos especiales

Tipo	Serie/ejecución/tamaño	Aplicación
Rodamientos de rodillos cilíndricos autoalineables (Publ. WL 13 111) 	FAG 5.....K.C5 (.W209B) (d 150...300) FAG 5.....K.C5 (.W209B) (d 320...710)	Cilindros secadores Cilindros M.G.
Rodamientos de tres anillos (TI WL 43-1192) 	FAG 5..... (d 180...420) FAG 5..... (d 100...400)	Rodillos anti-flexión, accionados en secciones de prensas y calandras
Rodam. partidos oscilantes de rodillos (Publ. WL 43 165/3) 	222SM..MA (d 55...200) FAG 5..... (d 170...400) con anillos de sujeción separados	Transmisiones, pulpers y agitadores/mezcladores, ventiladores Conversiones de cilindros secadores
Soportes 	PMD31.. (d 180...300) PMDR31.. (d 180...300) PM30..K— (d 130...710) PM30..H— (d 130...710) SUC30../31.. (d 130...710) PMF 23/22/32.. (d 75...180)	Cilindros secadores como soporte fijo de apoyo o como soporte sobre segmentos Cilindros secadores Cilindros M.G. (sólo para conversiones) Productos individuales, como soporte fijo de apoyo o soporte sobre segmentos Rodillos guía (sección de secado)

1.3 Servicios

- Montaje y servicio de diagnóstico
- Dispositivos para el montaje, el mantenimiento y el diagnóstico
- Asesoramiento técnico en las aplicaciones
- Cursos FAG de formación
- Curso básico de rodamientos
- Formación individual para personal de mantenimiento
- Software para auto aprendizaje (W.L.S.)
- Videos
- Publicaciones FAG e informaciones técnicas
- Programas PC para el cálculo y el diseño de rodamientos
 - Catálogo de productos FAG en CD-ROM
 - Programas especiales de cálculo de rodamientos y piezas de recambio
- Grasas Arcanol para rodamientos

Productos y servicios para la industria del papel

Sufijos y especificaciones técnicas para rodamientos en la industria del papel

1.4 Sufijos y especificaciones técnicas para rodamientos en la industria del papel

Sufijo	Descripción
C2	Juego radial menor que el normal
C3	Juego radial mayor que el normal
C4	Juego radial mayor que C3
C5	Juego radial mayor que C4
E, ED	Construcción interna modificada
H40	Rodamiento sin ranura de lubricación ni agujeros de engrase en el anillo exterior
H40AB	Rodamiento oscilante de rodillos con 6 agujeros de lubricación en el anillo interior
H40AC	Rodamiento oscilante de rodillos con 6 agujeros de lubricación y ranura de engrase en el anillo interior
H40CA	Rodamiento con 6 agujeros de lubricación y ranura de engrase en el anillo exterior
H44S	Agujeros de lubricación en el anillo exterior cerrados con un tapón de aluminio
H44SA	3 tapones de aluminio para cerrar los agujeros de lubricación en el anillo exterior
H44SB	6 tapones de aluminio para cerrar los agujeros de lubricación en el anillo interior (sólo en combinación con H40AC)
H88	Precisión de rotación P5 para el anillo interior, P4 para el anillo exterior + J26C + M15NZ + tolerancias restringidas para la anchura del anillo exterior
H140	Combinación de H40AC, H44SA, H44SB y T52BW
H157	Combinación de H40 y H40AC + boquilla de inyección de aceite
J26A	Punto de máximo salto radial marcado en el anillo interior o en el manguito
J26B	Punto de máximo salto radial marcado en el anillo exterior
J26C	Puntos de máximo salto radial marcados en los anillos interior y exterior
M	Jaula maciza de latón, guiada por los elementos rodantes
MB	Jaula maciza de latón, en dos piezas, guiada por el anillo interior
MB1	Jaula maciza de latón, en una pieza, guiada por el anillo interior
MB2	Jaula maciza de latón, modificada, en dos piezas, guiada por el anillo interior
M15NZ	Informe de medición con gráfico Talyrond, número de serie
M17D	Verificación de grietas en el anillo interior
T27	Rodillos cilíndricos con diámetro exterior abombado
T50H	Tolerancias restringidas del diámetro exterior (hacia menos-menos)
T52BW	Precisión de rotación P5 para los anillos interior y exterior (+ J26C)
W10A	Tratamiento térmico Isotemp para el anillo exterior
W10D	Tratamiento térmico Isotemp para los anillos exterior e interior
W209B	Anillo interior de acero cementado

Combinaciones habituales:

C3.H40AB.T52BW
C3.H40AC.T52BW
C3.H140
C3.T52BW
C5.M17D.T27.W10A.W209B
C5.M17D.T27.W10D
H40AB.T52BW
H40AC.T52BW
H44S.T52BW

2 Requisitos para los rodamientos de las máquinas papeleras

Las modernas máquinas empleadas hoy para la producción de papel continuo y de cartón, son grandes instalaciones que pueden alcanzar una longitud de hasta 200 m. Con un ancho de trabajo de 10 m, pueden fabricarse 1.800 m de papel por minuto. La banda de papel circula sobre un gran número de cilindros, que deben ser soportados por rodamientos.

Tal como se muestra en la figura de abajo, las máquinas de papel están formadas por los mismos componentes: sección húmeda, con la sección de conformado y la sección de prensas, sección de secado y grupo de acabado, con las calandras y las bobinadoras de papel.

Los requisitos típicos para las disposiciones de rodamientos en las máquinas papeleras son:

- Máxima seguridad de funcionamiento
- Montaje sencillo
- Compensación de errores de alineación
- Evitar la corrosión en la sección húmeda

- Aptitud para las altas temperaturas en la sección de secado
- Aptitud para altas velocidades
- Elevada calidad y precisión de los rodamientos

Una máquina de papel debe operar, si es posible, sin ninguna interrupción y debe pararse únicamente para realizar los trabajos de mantenimiento y de reparación. Como consecuencia, debe darse prioridad a la exigencia de la máxima seguridad y fiabilidad en el diseño de la aplicación de los rodamientos y en la correcta selección de los mismos. La lubricación y el mantenimiento desempeñan un papel importante en la selección de los rodamientos, por lo que el mantenimiento incluye el diagnóstico de los mismos durante el servicio.

Cuando el cambio de rodamientos es necesario, el desmontaje y el montaje posterior deben realizarse de forma que se ahorren tiempo y costes.

Debido a las grandes dimensiones de las máquinas de papel y, como consecuencia, a la distancia entre los rodamientos, éstos deben ser aptos para absorber desalineaciones y variaciones de longitud de los cilindros.

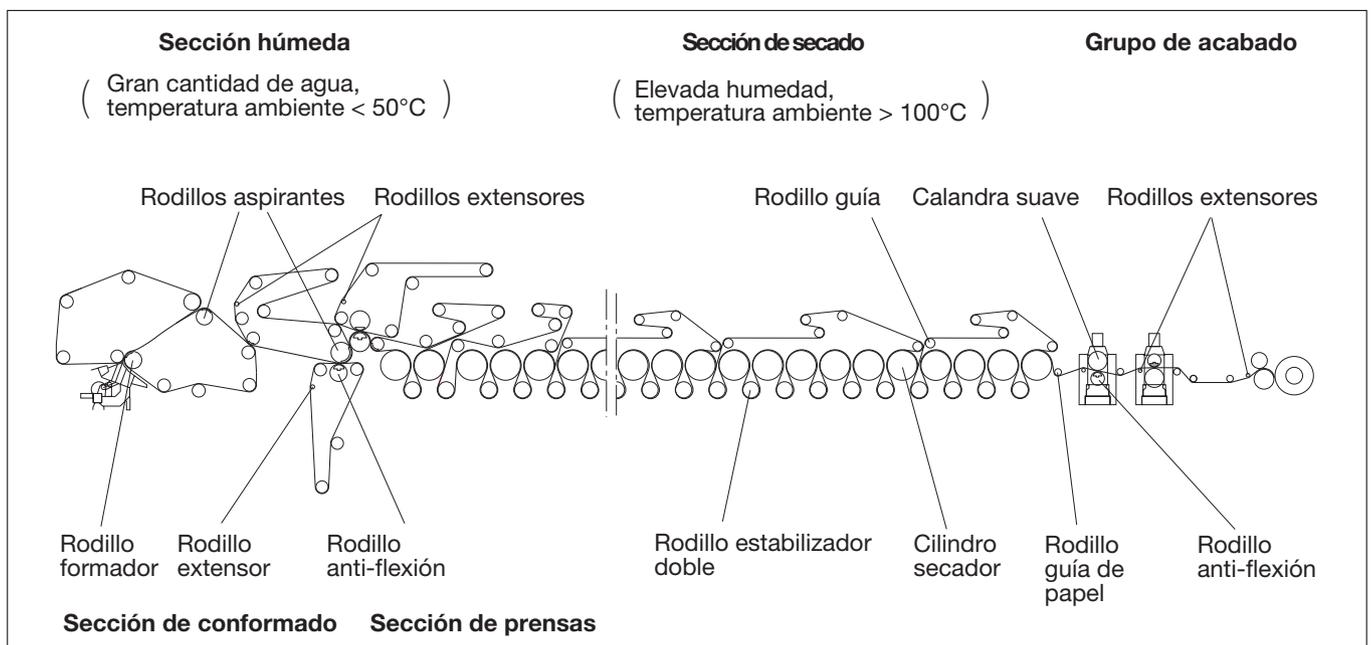
Existe un elevado grado de humedad y salpicaduras de agua en el entorno de la sección húmeda. Las obturaciones deben ser diseñadas de forma que el agua no pueda penetrar en los rodamientos y la corrosión pueda ser evitada. La humedad puede perjudicar severamente la lubricación y afectar de forma considerable a la duración de vida de los rodamientos.

Además, las elevadas temperaturas en los rodamientos de la sección de secado, exigen requisitos aun mayores para la lubricación y para la ejecución de los rodamientos.

Finalmente, en el diseño y en la disposición de los rodamientos deben tenerse en cuenta las altas velocidades de giro que se alcanzan, debidas a la elevada velocidad de traslación del papel.

Las máquinas de papel son instalaciones individuales fabricadas para los requisitos específicos del cliente. No están producidas en serie, lo que es habitual en otros sectores. La experiencia con componentes y condiciones de funcionamiento similares, sin embargo, puede ser útil en el diseño de la disposición de los rodamientos.

Esquema de una moderna máquina de papel



Requisitos para los rodamientos de las máquinas papeleras

Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

El tipo de rodamiento especialmente dominante, en tamaños entre medio y grande, es el rodamiento oscilante de rodillos. Grandes rodamientos de rodillos cilíndricos se adaptan frecuentemente a las especiales condiciones de servicio y a la construcción de rodillos.

Otros tipos de rodamientos se pueden encontrar en equipos auxiliares de las plantas papeleras (motores, reductores, ventiladores, descortezadoras de tambor, molinos, astilladoras, refinos, agitadores/mezcladores, recubridores, bobinadoras y equipos de corte), ver relación en páginas 4 y 5.

En la industria del papel, los rodamientos se diseñan para una mayor duración de vida nominal que en otros equipos industriales, ver sección 5.1.

La lubricación influye de forma considerable en la duración de servicio de los rodamientos. Por razones de fiabilidad y de mantenimiento, todos los rodamientos de los cilindros de una moderna máquina papeleras están conectados a un sistema de circulación de aceite. La lubricación con grasa se puede encontrar en la sección húmeda (con temperaturas ambientales menores) en antiguas máquinas de papel.

En la sección de secado, los rodamientos de las poleas, para los rodillos extensores y, en algunas ocasiones, para los rodillos guía, se lubrican con grasa, ver la sección 5.2.

Un elevado grado de limpieza durante todo el tiempo de servicio es decisivo para lograr una larga duración de vida de los rodamientos. Esto requiere la máxima fiabilidad de las obturaciones, especialmente contra la humedad, y diversos diseños que dependen del tipo de cilindro, ver ejemplos en la sección 3.

3 Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

3.1 Sección húmeda



3.1.1 Rodillos formadores

En modernas máquinas de papel de alta velocidad, los rodillos formadores son los primeros rodillos en los que el papel, todavía pulpa, es guiado. Se extrae una gran cantidad de agua y se da forma a la masa de papel restante. Los rodillos formadores constan de un cilindro de acero fino resistente a la corrosión, de hasta 10 m de longitud. El agua se extrae a través de pequeños agujeros dispuestos en toda la superficie del cilindro. Primero se recoge en una rejilla tipo panal en el exterior del cilindro y se vierte en un depósito después de aprox. media rotación del mismo. La lámina de papel, de la que se ha extraído más agua, es transportada mediante dos bandas de fieltro, hacia la sección de prensas a través de los cilindros aspiradores.

Datos técnicos

Longitud de los rodillos 7.120 mm;
diámetro de los mismos 1.150 mm;
velocidad de rotación 276 min^{-1} (velocidad de traslación del papel 1.000 m/min); peso de cada rodillo 200 kN; tensión del fieltro 5 kN/m.

Selección de rodamientos, dimensionado

El diámetro de la caja de aspiración es decisivo para el tamaño de los rodamientos principales en el lado operario. Se recomiendan rodamientos con una capacidad de carga dinámica tan baja como sea posible, con objeto de reducir el riesgo de deslizamientos (ver ejemplo 3.1.2). Son necesarios rodamientos autoalineables, pues las desalineaciones pueden presentarse.

Los criterios principales para el dimensionado de los rodamientos son el peso de los cilindros, la tensión del fieltro y la velocidad de rotación.

Se montan rodamientos FAG oscilantes de rodillos: 22326ED.C3 como rodamiento de apoyo para la caja de aspiración; como rodamiento principal (lado operario) 23996K.MB y como rodamiento principal (lado accionamiento) 23068K.MB. El rodamiento principal montado sobre el eje cónico puede ser montado y desmontado mediante el método hidráulico.

El rodamiento fijo (lado accionamiento) proporciona la fijación axial del cilindro, mientras que el rodamiento flotante compensa las variaciones de longitud del cilindro a través del desplazamiento axial del anillo exterior en el agujero del alojamiento.

Tolerancias de mecanizado

Rodamiento principal: La carga circunferencial exige un ajuste forzado para el anillo interior; tolerancia de redondez IT5/2 (DIN ISO 1101); tolerancia del ángulo del cono AT7 (DIN 7178). Agujero del alojamiento según G7, debido a la carga puntual en el anillo exterior.

Rodamiento de la caja de aspiración: Agujero del alojamiento según N7 (carga circunferencial en el anillo exterior), eje según f6 (carga puntual en el anillo interior).

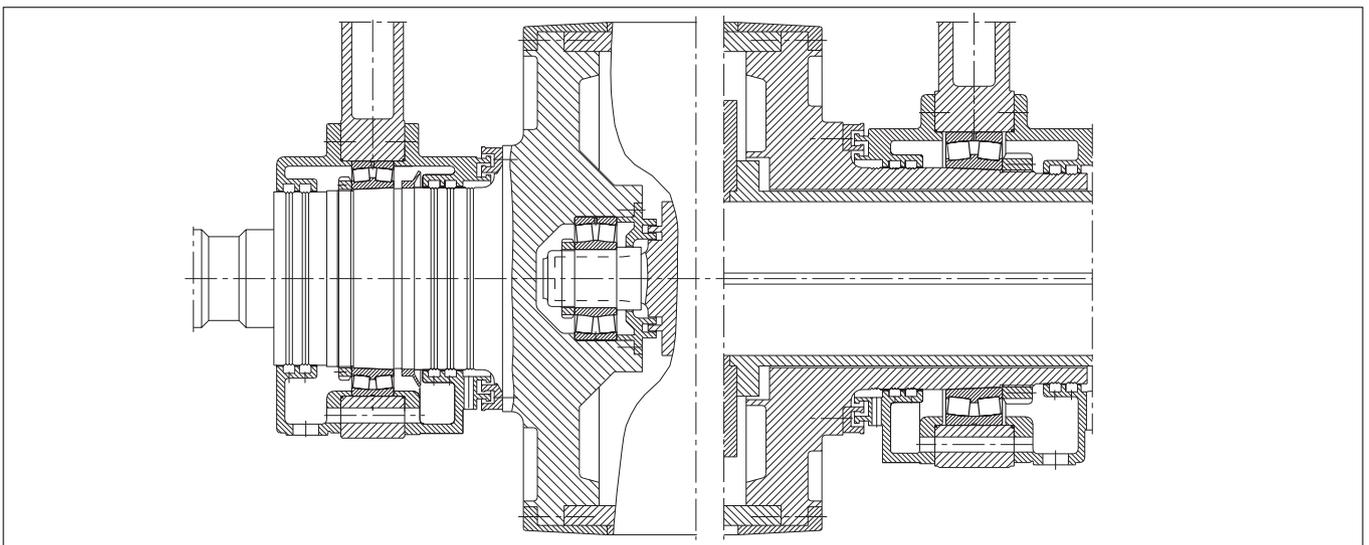
Lubricación

Lubricación por circulación de aceite mineral con suficiente viscosidad y aditivos EP, así como otros aditivos con buenas propiedades anticorrosivas y con capacidad de separación de agua. Para las cantidades mínimas de aceite, ver la sección 5.2.2.

Obtunicaciones

Rodamiento principal: Una obturación de múltiples laberintos protege contra la penetración del agua exterior, especialmente por los lados de los cilindros.

Rodamiento de la caja de aspiración: Laberintos como protección contra la penetración de agua (lado de la caja de aspiración).



Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

Sección húmeda

3.1.2 Rodillos aspiradores

Los cilindros aspiradores están montados en la sección de fieltros o en la sección de prensas de una máquina papelerera. Son cilindros huecos de hasta 10 m de longitud, que disponen de muchos pequeños agujeros por todo el perímetro del cilindro. Cierta cantidad de agua se extrae del fieltro mediante la rotación del cilindro y con el vacío del interior del mismo. La caja de aspiración, como eje interior, es estacionaria. En las modernas máquinas papeleras, el cilindro es accionado mediante ruedas planetarias.

Datos técnicos

Longitud de los rodillos 7.800 mm; diámetro de los mismos 1.600 mm; velocidad de rotación 278 min^{-1} (velocidad de traslación del papel 1.400 m/min); peso de cada rodillo 270 kN; tensión del fieltro 5 kN/m.

Selección de rodamientos, dimensionado

El diámetro de la caja de aspiración es determinante para seleccionar el tamaño de los rodamientos. Se recomiendan

rodamientos con una capacidad de carga dinámica tan baja como sea posible; la elevada carga específica sobre el rodamiento reduce el peligro de deslizamientos (una carga demasiado baja y una lubricación defectuosa pueden causar el deslizamiento de los elementos rodantes sobre las pistas de rodadura).

Son necesarios rodamientos autoalineables, pues pueden presentarse desalineaciones.

Los criterios principales para el dimensionado de los rodamientos son el peso de los cilindros, la tensión del fieltro y la velocidad de rotación.

Se utilizan rodamientos FAG oscilantes de rodillos 239/850K.MB.C3 con agujero cónico (conicidad 1:12) y juego radial aumentado. Por razones de precisión de rotación, los rodamientos se montan directamente sobre los asientos cónicos del eje. Para facilitar el montaje, se emplea el método hidráulico.

El rodamiento fijo proporciona la fijación axial del cilindro, mientras que el rodamiento flotante compensa las variaciones de longitud del cilindro a través del desplazamiento axial del anillo exterior en el agujero del alojamiento.

La duración de vida nominal es $L_n > 100\ 000$ h. El cálculo de la duración de vida nominal modificada alcanza más de 200 000 h cuando la temperatura de funcionamiento es de 60°C y el aceite es ISO VG 68 (relación de viscosidades $\kappa > 2$; factor $a_{23} = 2,2$).

Tolerancias de mecanizado

El anillo interior soporta una carga circunferencial y se ajusta en el asiento cónico del eje.

Tolerancia de redondez IT5/2 (DIN ISO 1101); tolerancia del ángulo del cono AT7 (DIN 7178).

Agujero del alojamiento según G7, debido a la carga puntual en el anillo exterior.

Lubricación

Los rodamientos oscilantes de rodillos se lubrican con circulación de aceite, con una cantidad mínima de 8 l/min. Se selecciona un aceite mineral con suficiente viscosidad y con aditivos EP. También se requieren aditivos con buenas propiedades anticorrosivas y con capacidad de separación de agua. Una lubricación eficaz se consigue mediante el suministro de aceite en el centro del rodamiento.

Obturaciones

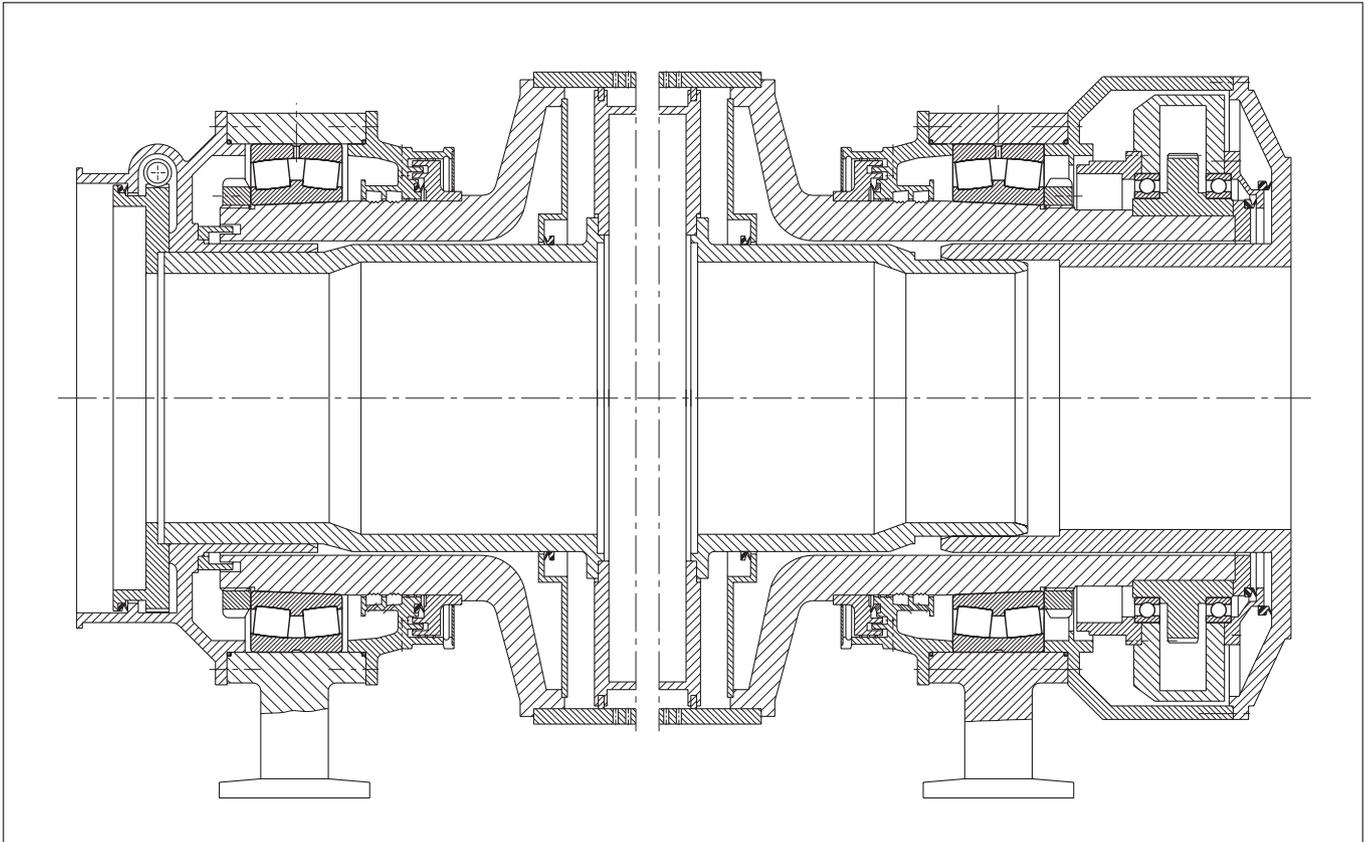
Todo el aceite que tiende a escapar es expulsado mediante unas ranuras que proyectan el aceite y lo devuelven a una cámara. En los lados de los cilindros, unas chapas pulverizadoras y unos laberintos múltiples rellenos con grasa, con obturaciones V-Ring, evitan la entrada de agua desde el exterior.

Cortesía de Valmet



Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

Sección húmeda



Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

Sección húmeda

3.1.3 Rodillos prensa centrales

La lámina de papel circula sobre un paño de fieltro a través de los cilindros prensa donde es extraída una gran cantidad de agua. En las modernas secciones de prensas, uno o más cilindros prensa (aspiración) son presionados contra el rodillo prensa central. Este rodillo prensa central es macizo, fabricado en granito/acero o bien en acero con un recubrimiento.

Datos técnicos

Longitud de los rodillos 8.800 mm; diámetro de los mismos 1.500 mm; velocidad 1.450 m/min; peso de los rodillos 750 kN. Compresión de 3 rodillos en posiciones 30°, 180° y 210°; temperatura de los rodamientos, aprox. 60° C. Accionamiento directo.

Selección de rodamientos, dimensionado

Se han seleccionado los rodamientos oscilantes de rodillos, autoalineables, de las series 231 o 232, con una muy alta capacidad de carga, debido a las elevadas cargas que se presentan y a las desalineaciones posibles entre las posiciones de los

rodamientos. Es también importante la baja altura de estos rodamientos, ya que la altura de los alojamientos está limitada por el diámetro del cilindro.

El peso del cilindro y las componentes de la fuerza de compresión resultan en una carga sobre el rodamiento $F_r = 300$ kN.

En ambos lados se montan rodamientos oscilantes de rodillos FAG 231/600K.MB.C3. El rodamiento con agujero cónico (conicidad 1:12) se monta a presión directamente en el asiento cónico del eje por medio del método hidráulico.

La disposición del rodamiento libre en el lado operario permite variaciones de la longitud del cilindro, en función de la temperatura, desplazando el anillo exterior en el alojamiento. El rodamiento fijo se monta en el lado del accionamiento.

A una velocidad de rotación de 308 min^{-1} se alcanza una duración de vida nominal $L_{10} > 100\ 000$ h. Con buena lubricación (relación de viscosidades $\kappa 3$, factor básico $a_{231II} = 3$) y elevada limpieza (factor de contaminación $V = 0,5$) en la película lubricante, de acuerdo con el cálculo de la duración de vida nominal modificada, L_{hna} es $\gg 100\ 000$ h.

Tolerancias de mecanizado

El anillo interior soporta una carga circunferencial y se ajusta en el asiento cónico del eje. Tolerancia de redondez IT5/2 (DIN ISO 1101); tolerancia del ángulo del cono AT7 (DIN 7178).

Agujero del alojamiento según G7, debido a la carga puntual en el anillo exterior.

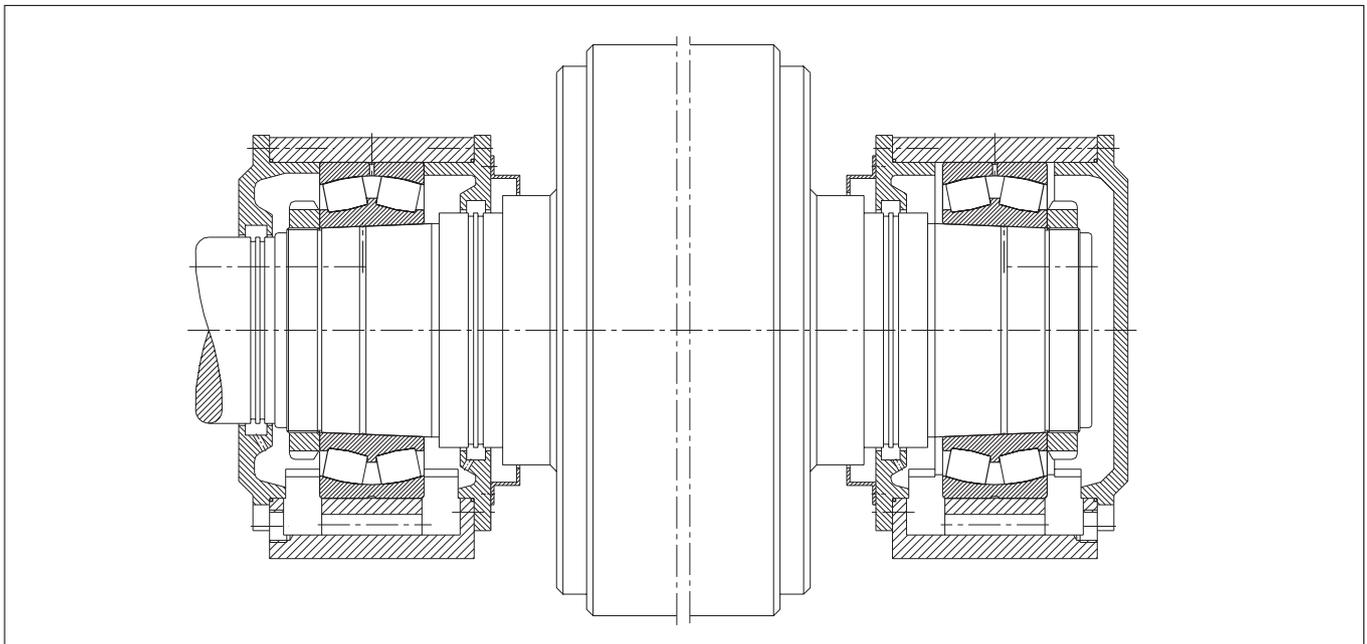
Lubricación

Lubricación por circulación de aceite (cantidad mínima 7 l/min), con aceite mineral (ISO VG 100) que contenga aditivos EP y otros aditivos con buenas propiedades anticorrosivas y con capacidad de separación de agua.

El retorno de aceite por ambos lados del rodamiento se logra mediante cámaras de aceite y agujeros de conexión.

Obturaciones

Unas ranuras que proyectan el aceite, dispuestas en los extremos de los cilindros, previenen las fugas de aceite a través de las tapas. Una obturación por paso estrecho, sin rozamiento y libre de mantenimiento, protege el rodamiento de las influencias ambientales.



3.1.4 Rodillos anti-flexión

En la sección de prensas y calandras, los rodillos anti-flexión permiten conseguir un espesor uniforme a lo largo de la lámina de papel y una elevada y constante calidad superficial del mismo. El accionamiento se efectúa en el lado del rodamiento fijo mediante un reductor y un acoplamiento de dientes curvos, a la cubierta del cilindro.

El rodillo de ajuste es presionado contra el rodillo prensa (rodillo de calandra) con presiones muy elevadas. Como consecuencia, el rodillo prensa está curvado y la forma de la cubierta del rodillo cambia. La cubierta del rodillo de ajuste debe adaptarse a esta forma.

Los rodillos anti-flexión constan de un eje estacionario y una cubierta giratoria. En dicho eje están dispuestos los elementos de control, de presión regulable, que soportan hidrostáticamente la cubierta del rodillo y efectúan los ajustes de forma. La cubierta del rodillo está formada como el rodillo de ajuste curvado por la presión cambiante y proporciona al papel un espesor uniforme.

Datos técnicos

Longitud de los rodillos 9.300 mm; diámetro de los mismos 1.025 mm; peso de cada rodillo 61 t; peso de la cubierta 210 kN; compresión 700 kN; velocidad tangencial 1.500 m/min ($n = 470 \text{ min}^{-1}$); temperatura de los rodamientos 55°C .

Selección de rodamientos, dimensionado

Se montan rodamientos FAG oscilantes de rodillos 23096MB.H140 (capacidad de carga dinámica $C = 3\,800 \text{ kN}$). Duración de servicio deseada: $> 100\,000 \text{ h}$. El rodamiento tiene, en funcionamiento (bajo presión y con espacio cerrado) sólo una función de guiado.

A causa del riesgo de resbalamientos, se han seleccionado los rodamientos de la serie 239, con reducida capacidad de carga.

Los rodamientos tienen una precisión aumentada de salto axial (especificación T52BW, como parte de H140), puesto que las imprecisiones de rotación de la cubierta del rodillo influyen en la calidad del papel.

Tolerancias de mecanizado

El asiento de los rodamientos deben ser según f6, debido a la carga puntual en el anillo interior.

Ajuste forzado (agujero del alojamiento según P6) a causa de la carga circunferencial en el anillo exterior. Debido al desmontaje con dispositivos hidráulicos, los agujeros de lubricación en el anillo exterior están cerrados.

Lubricación

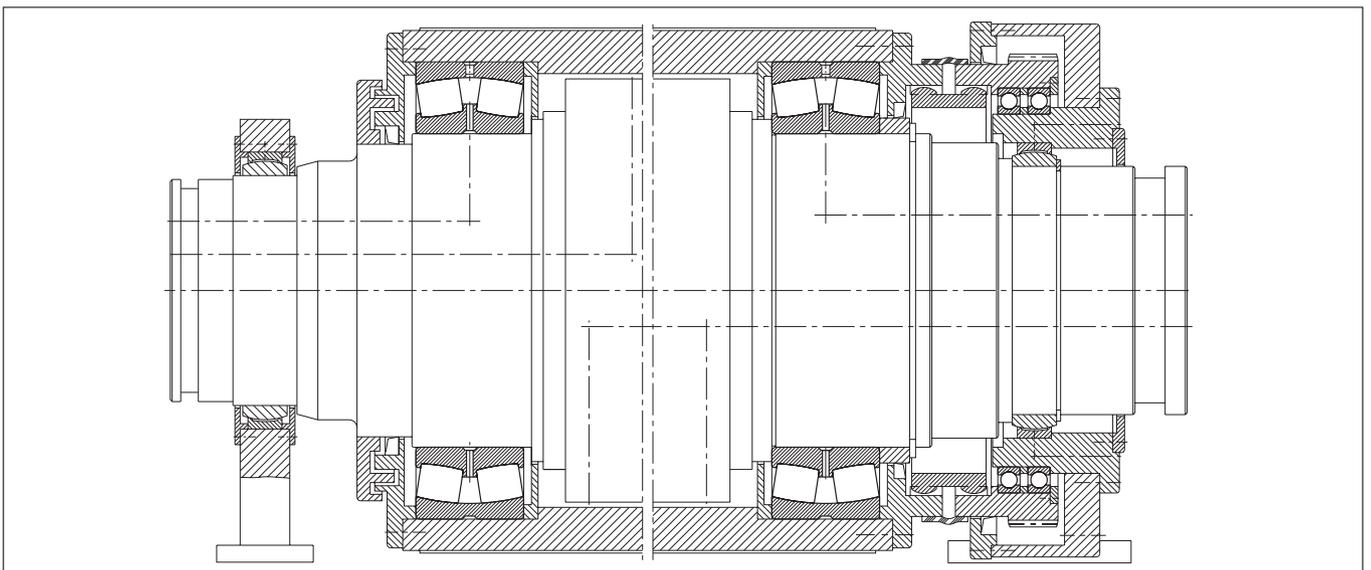
Si pueden producirse desalineaciones dinámicas y/o deslizamientos, un muy buen lubricante debe aportar capacidad de carga a la película lubricante. Los rodamientos se lubrican con el aceite lubricante utilizado para el sistema hidráulico (ISO VG 150 con aditivos EP).

En nuevos diseños y, especialmente, para los cilindros calientes, el aceite es conducido a través de los agujeros de lubricación del anillo interior, dentro del rodamiento, directamente a las áreas de contacto.

Circuitos separados de aceite para los rodamientos rígidos a bolas de las transmisiones.

Obturaciones

Los rodamientos están obturados hacia el exterior mediante obturaciones radiales para ejes. Hacia el interior, un disco deflector mantiene una cámara de aceite en la zona del rodamiento



Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

Sección de secado

3.2 Sección de secado

3.2.1 Rodillos guía

Los rodillos guía conducen la tela o fieltro en las secciones húmedas y de secado de las máquinas papeleras. Para ambas áreas se utilizan los mismos rodamientos para los rodillos guía. Sin embargo, la lubricación y las obturaciones son diferentes, en función del punto de aplicación.

En máquinas antiguas, en la sección húmeda normalmente se lubricaba con grasa y en la sección de secado, con aceite.

En las máquinas más modernas, los rodamientos disponen de lubricación por circulación de aceite en las secciones húmeda y de secado. Debido a las diferentes condiciones de funcionamiento, son necesarios circuitos de aceite separados para las secciones húmeda y de secado.

Con frecuencia, cuanto mayor es la

máquina, mayor es la velocidad de la misma. Por esta razón, el anillo interior del rodamiento con agujero cónico se ajusta directamente sobre el apoyo cónico del eje.

Sección húmeda

En función de la posición de los rodamientos en la máquina de papel, éstos están sujetos a pequeño o a elevado grado de humedad. El agua no debe penetrar en los soportes, especialmente cuando la máquina se limpia a alta presión.

Sección de secado

Temperaturas ambientales de aprox. 95° C conducen a grandes cambios de longitud y plantean elevadas exigencias a la lubricación. La temperatura de servicio de los rodamientos puede alcanzar hasta 115° C.

Datos técnicos

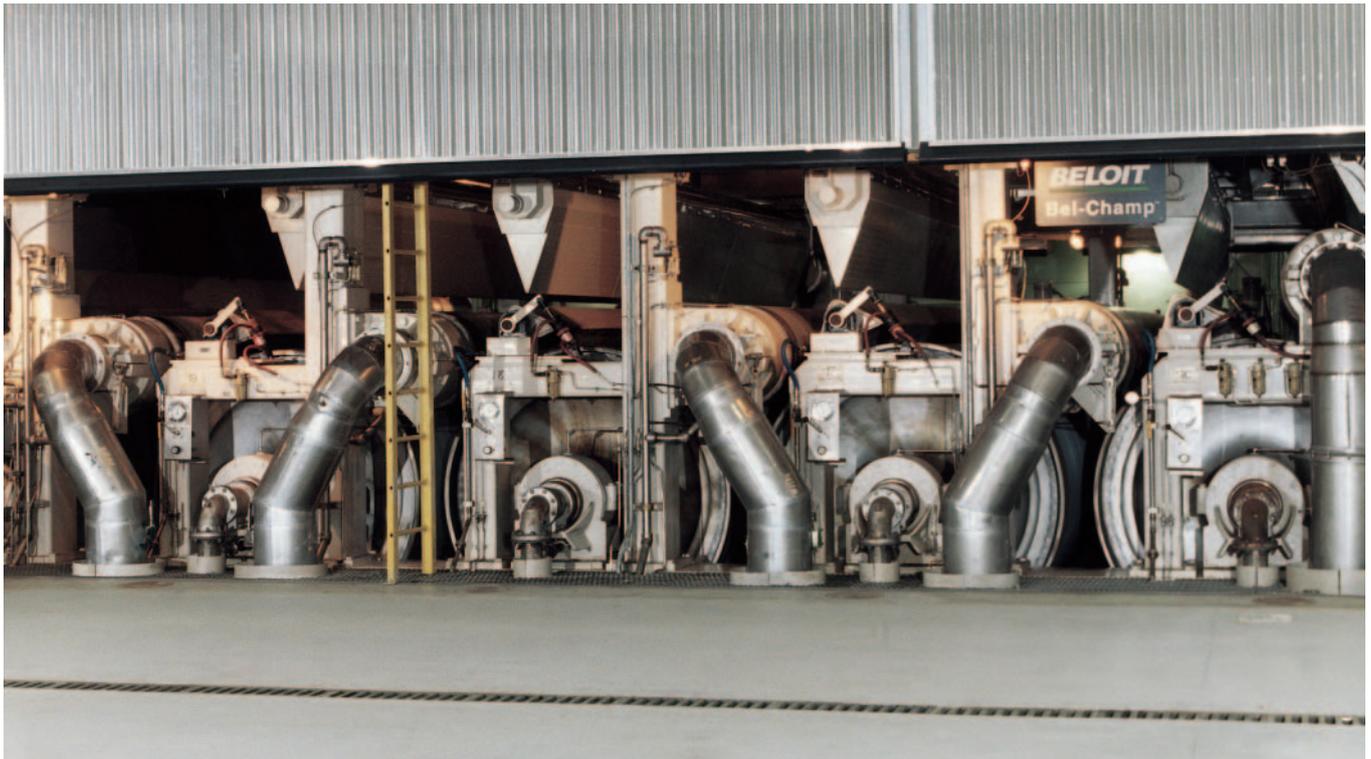
Anchura de trabajo 8.800 mm; diámetro de los rodillos 700 mm; velocidad de traslación del papel 1.650 m/min ($n = 750 \text{ min}^{-1}$); peso de los rodillos 8.000 kg ($F_G \approx 80 \text{ kN}$); tensión del papel 1 kN/m (fuerza de extensión $F_z \approx 9 \text{ kN}$); ángulo de abrazado 180°, temperatura de los rodamientos aprox. 105° C.

Selección de rodamientos, dimensionado

Los rodamientos deben ser capaces de absorber las cargas y, al mismo tiempo, compensar los errores de alineación (desalineaciones, flexiones). Es necesario un juego radial aumentado, según C3, debido a las diferencias de temperatura.

Se montan rodamientos oscilantes de rodillos FAG 22330EDK.C3.

Cortesía de Beloit



Carga sobre el rodamiento:

$$P = (F_G + F_z)/2 = (80 + 9)/2 = 44,5 \text{ kN}$$

El diámetro de las manguetas queda definido por la rigidez requerida para los cilindros. Por ello, existe un elevado coeficiente de tensiones dinámicas f_L , correspondiente a una duración de vida nominal L_h por encima de las 200.000 horas; esta duración de vida puede ser mayor en función de las condiciones de lubricación.

Los soportes pueden estar en posición de apoyo o suspendidos, o también pueden ser atornillados lateralmente. Dichos soportes están previstos para lubricación por circulación de aceite.

Tolerancias de mecanizado

Los anillos interiores tienen carga circunferencial y están montados directamente en las manguetas cónicas de los cilindros. Dichas manguetas tienen ranuras

de aceite para que los rodamientos puedan ser montados y desmontados mediante el procedimiento hidráulico

Tolerancia de redondez IT5/2 (DIN ISO 1101); tolerancia del ángulo del cono AT7 (DIN 7178).

Los asientos de los rodamientos en los alojamientos son según G7.

Lubricación

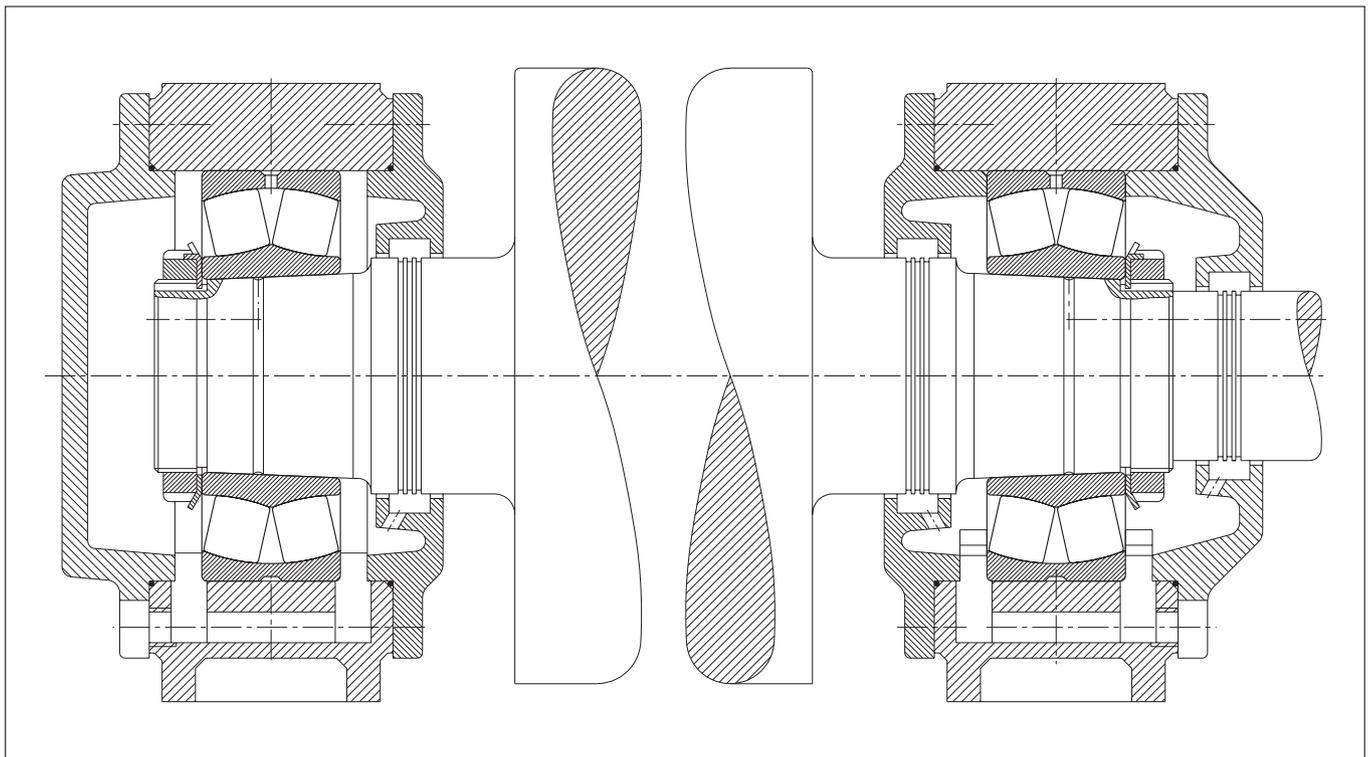
En la sección de secado: ver el ejemplo 3.2.2 (cilindro de secado), en el que el rodamiento está conectado al circuito de aceite de los cilindros de secado. Cantidad mínima de flujo de aceite 0,9 l/min.

En la sección húmeda: ver los ejemplos 3.1.2 (cilindros de aspiración) y 3.1.3 (cilindros prensa centrales) en los que los rodamientos están conectados al circuito de aceite de los cilindros de la sección húmeda. Cantidad mínima de flujo de aceite 0,5 l/min.

Obturaciones

En la sección de secado, las obturaciones por paso estrecho, sin rozamiento y libres de mantenimiento, previenen las fugas de aceite a través de las tapas.

Los rodamientos en la sección húmeda tienen obturaciones de laberinto reengrasables para evitar la penetración de agua. El aceite sobrante se centrifuga mediante unas ranuras y se conduce de retorno a unos depósitos. Unas tapas obturadoras hacen los soportes impermeables al aceite.



Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

Sección de secado

3.2.2 Cilindros secadores

En la sección de secado, el agua sobrante es evaporada. El papel circula sobre numerosos cilindros secadores calientes, guiado por un tamiz sin fin (anteriormente un fieltro). Los cilindros secadores se calientan mediante vapor de agua (la temperatura depende del tipo de papel, de su espesor, de su velocidad y del número de cilindros secadores). La elevada temperatura del vapor de calentamiento se transmite a los asientos de los rodamientos y, por lo tanto, también a éstos. Hoy en día, las manguetas a través de las cuales fluye el vapor, se aíslan para mantener los rodamientos a temperaturas más reducidas.

Datos técnicos

Anchos de trabajo de 5.700 mm; diámetro de los cilindros 1.800 mm; velocidad del papel 1.400 m/min (velocidad de giro 248 min⁻¹); temperatura de calentamiento 165° C (7 bar); peso de los cilindros 9.000 kg.

Tensión del fieltro 4,5 kN/m; ángulo de abrazado 180°; temperatura ambiente bajo la cubierta de la sección de secado, aprox. 95° C; los agujeros de las manguetas están aislados.

Selección de rodamientos

La carga sobre los rodamientos se calcula a partir del peso de los cilindros, de la tensión del tamiz y, ocasionalmente, de la carga de agua. El rodamiento libre está cargado con 75 kN y el rodamiento fijo, teniendo en cuenta la fuerza del accionamiento, está cargado con 83 kN. El calentamiento de los cilindros secadores conduce a una dilatación térmica que, para los largos cilindros, significa una considerable variación de su longitud. Debido a las desalineaciones que se presentan entre ambas posiciones de los rodamientos, éstos deben ser autoalineables.

En el lado operativo, se dispone, como

apoyo libre, un rodamiento de rodillos cilíndricos, de doble hilera, de la serie de dimensiones 31. Este rodamiento compensa fácilmente las variaciones de longitud del cilindro, en el interior del rodamiento, entre los rodillos y las pistas de rodadura. Una rótula, con su superficie deslizante esférica, compensa las eventuales imprecisiones y desviaciones de las manguetas. Se monta un rodamiento de rodillos cilíndricos, autoalineable, de dos hileras, FAG 566487K.C5, de dimensiones 200x340x112 mm.

Como apoyo fijo, en el lado del accionamiento, se dispone un rodamiento oscilante de rodillos FAG 23140BK.MB.C4.

Ambos rodamientos tienen un juego de funcionamiento aproximadamente igual, con objeto de evitar la precarga de los mismos durante la fase de calentamiento, que puede alcanzar una diferencia de temperatura de 50° C.

El rodamiento oscilante de rodillos tiene el juego radial aumentado C4 (260...340 µm) y el rodamiento de rodillos cilíndricos también tiene el juego radial mayor que el normal, C5 (275...330 µm).

Ambos rodamientos tienen el agujero cónico (K 1:12) y se montan, mediante el método hidráulico, directamente sobre las manguetas cónicas de los cilindros.

Ya que el rodamiento de rodillos cilíndricos y el rodamiento oscilante de rodillos tienen las mismas dimensiones, se montan soportes de apoyo PMD, no partidos, (FAG PMD3140AF o bien BF) en el lado del accionamiento y en el lado operativo.

A causa de la elevada temperatura de servicio, ambos rodamientos tienen un tratamiento térmico especial (isotemp) y están estabilizados dimensionalmente hasta 200° C.

Dimensionado del rodamiento

Para los rodamientos de los cilindros secadores se exige una duración de vida

$L_{hna} \geq 250.000$ horas.

La lubricación ejerce una influencia decisiva en el cálculo de la duración de vida modificada.

Para un aceite mineral con una viscosidad nominal de 220 mm²/s (ISO VG 220), la viscosidad de funcionamiento, a una temperatura media de servicio de 100° C, alcanza el valor de $\nu = 16$ mm²/s.

La viscosidad de referencia se determina a partir de la velocidad de giro y del diámetro medio del rodamiento.

$d_m = (200 + 340)/2 = 270$ mm, a $\nu_1 = 25$ mm²/s.

La relación de viscosidades es: $\kappa = \nu/\nu_1 = 16/25 = 0,64$.

Para rodamientos oscilantes de rodillos y con un valor $K = 1$, se obtiene un factor base $a_{23II} = 1,1$.

Los valores $K = 0$ y $a_{23II} = 1,4$ se emplean para los rodamientos de rodillos cilíndricos.

Con limpieza normal (factor de limpieza $s = 1$), el factor $a_{23} = a_{23II} \cdot s$ es:

1,1 para rodamientos oscilantes de rodillos y
1,4 para rodamientos de rodillos cilíndricos.

La duración de vida alcanzable $L_{hna} = a_1 \cdot a_{23} \cdot L_h$, para ambos rodamientos, es de más de 250.000 h.

Tolerancias de mecanizado

Los anillos interiores tienen carga circunferencial y están montados con ajuste, directamente en las manguetas cónicas de los cilindros. Dichas manguetas disponen de ranuras de aceite para que los rodamientos puedan ser montados y desmontados mediante el procedimiento hidráulico. Tolerancia de redondez IT5/2 (DIN ISO 1101); tolerancia del ángulo del cono AT7 (DIN 7178). Los asientos de los rodamientos en los alojamientos son según G7.

Lubricación

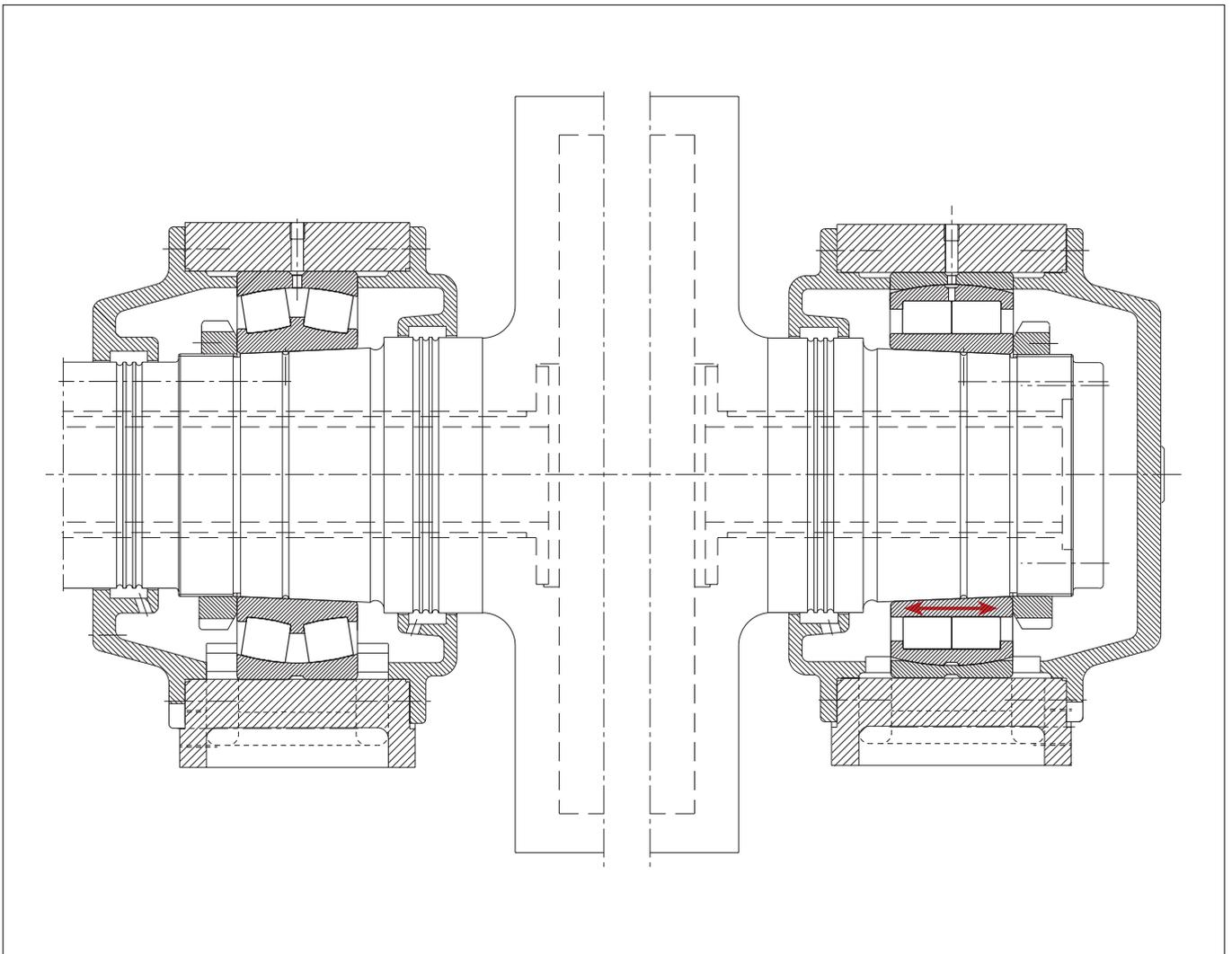
Los soportes de los rodamientos están conectados a un sistema de lubricación centralizada por circulación de aceite, de forma que el calor es constantemente evacuado de los rodamientos. Se utiliza aceite mineral de alta calidad ISO VG 220 o bien 320, que debe tener una elevada viscosidad de servicio, estabilidad térmica, buena protección contra el desgaste, buena capacidad de eliminación de agua y un alto grado de limpieza. Una cantidad mínima de aceite de 1,6 l/min es conducida

directamente hasta el centro del rodamiento a través de una ranura y orificios de lubricación en el anillo exterior.

El aceite puede ser conducido a ambos lados del rodamiento gracias a la entrada del mismo a través de un agujero central. El riesgo de retención y derrame del aceite se ha minimizado considerablemente. Las eventuales partículas de contaminación o de desgaste que puedan penetrar en el rodamiento, son inmediatamente eliminadas mediante este método de lubricación.

Obturaciones

Se emplean obturaciones por paso estrecho, sin rozamiento y libres de mantenimiento para las manguetas de los cilindros. El aceite es centrifugado mediante unas ranuras en los cilindros y depositado en unas pequeñas cámaras que, a través de agujeros, devuelven el aceite al depósito situado en el fondo del soporte. Tapas obturadoras hacen que las máquinas de papel sean estancas para el aceite.



Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

Calandra y grupo de acabado

3.3 Calandra y grupo de acabado

Cortesía de Valmet



3.3.1 Calandra suave

El papel pasa a las llamadas calandras después de abandonar la sección de secado. La calandra suave satina la superficie del papel y mejora las propiedades para la impresión del mismo. Las calandras constan de dos pares de rodillos dispuestos uno a continuación del otro. Un rodillo de la calandra (acero) descansa, por encima y por debajo, en un contra-rodillo, el llamado rodillo anti-flexión (material elástico). La calandra suave puede ser calentada mediante agua, vapor o aceite. La separación o la carga “nip” (presión de contacto) dependen, respectivamente, del tipo de papel.

Datos técnicos

Anchos de trabajo de, aprox 7 m; velocidad de giro 350 min^{-1} (velocidad de traslación 1.100 m/min); calentamiento mediante aceite a $200...250^\circ \text{ C}$; manguetas de los cilindros aisladas; temperatura de servicio en el anillo interior del rodamiento 130° C .

Selección de rodamientos, dimensionado

La carga radial en el rodamiento depende de la aplicación de los rodillos de la calandra, ya sean rodillos superiores o inferiores, del peso F_G y de la carga debida a la presión, con su porcentaje de tiempo.

$$P_1 = F_G + F_{Nip \text{ mín}} = 600 \text{ kN}$$

$$P_2 = F_G + F_{Nip \text{ medio}} = 990 \text{ kN}$$

$$P_3 = F_G + F_{Nip \text{ máx}} = 1.260 \text{ kN}$$

$$P_4 = F_G - F_{Nip \text{ mín}} = 60 \text{ kN}$$

$$P_5 = F_G - F_{Nip \text{ medio}} = 390 \text{ kN}$$

$$P_6 = F_G - F_{Nip \text{ máx}} = 720 \text{ kN}$$

Porcentajes de tiempo: P_1 y P_4 : 10 % cada uno; P_2 , P_3 , P_5 y P_6 : 20 % cada uno.

Cuando se utilizan como cilindros inferiores, se suman la fuerza de peso y la carga de apriete entre rodillos, y si se emplean como cilindros superiores, actúa sólo la diferencia entre la carga de apriete y el peso.

En el caso de los cilindros superiores, tomando las cargas máximas para el dimensionado de los rodamientos, puede llegarse a sobredimensionar los mismos

(carga dinámica equivalente $P < 0,02 \cdot$ capacidad de carga dinámica). Con cargas reducidas, pueden presentarse deslizamientos que conducirán a la avería del rodamiento, cuando la lubricación es insuficiente o inadecuada. Para evitar este problema, deben seleccionarse rodamientos más pequeños, con una capacidad de carga dinámica menor, de forma que $P/C > 0,02$. Con una masa más reducida de los rodillos, el riesgo de rotura de la película lubricante es menor. En casos críticos, se recomienda el empleo de rodamientos con elementos rodantes con recubrimiento.

Los requisitos en cuanto a capacidad de carga y regulación de alineación se alcanzan con los rodamientos oscilantes de rodillos.

Los diámetros de las manguetas y de la superficie envolvente de los cilindros limita la altura constructiva de los rodamientos. Se utilizan los relativamente anchos rodamientos oscilantes de rodillos FAG 231/560AK.MB.C4.T52BW.

Con las cargas y los porcentajes de tiempo indicados, la duración de vida nominal es $L_h = 83.000 \text{ h}$.

Con lubricación con aceite ISO VG 220 y a una temperatura de servicio de 130° C , la relación de viscosidades es $\kappa = 0,71$. La duración de vida ampliada $L_{hna} > 100.000 \text{ h}$ se obtiene mediante el cálculo de la duración de vida nominal modificada (en el que $f_s > 12$; $a_{23II} = 1,2$; $V = 0,5$ y $s = 1,6$).

La gran diferencia de temperatura durante la fase de calentamiento y a causa del riesgo de que los rodamientos queden precargados, exige que éstos dispongan un juego radial aumentado, C4. Con un factor de velocidad $n \cdot d_m = 224.000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$, se recomiendan rodamientos con mayor precisión de rotación, según la especificación T52BW.

Tolerancias de mecanizado

Los anillos interiores tienen carga circunferencial y están montados directamente en las manguetas cónicas de los cilindros. Dichas manguetas tienen ranuras de aceite para que los rodamientos puedan ser montados y desmontados mediante el procedimiento hidráulico.

Tolerancia de redondez
IT5/2 (DIN ISO 1101),

tolerancia del ángulo del cono
AT7 (DIN 7178).

Los asientos de los rodamientos en los alojamientos son según F7.

Lubricación

Lubricación por circulación de aceite ISO VG 220, de una calidad adecuada, que ha dado un buen resultado en el ensayo dinámico del banco de pruebas FAG FE8.

Suministrando una gran cantidad de aceite en el centro del rodamiento (caudal mínimo de aceite 12 l/min), se consigue una buena disipación de calor, así como una menor carga térmica para el aceite. Las eventuales partículas de contaminación o de desgaste son eliminadas del rodamiento. El aceite circula de retorno hacia ambos lados del rodamiento a través de unas cámaras conectadas al fondo del soporte mediante agujeros.

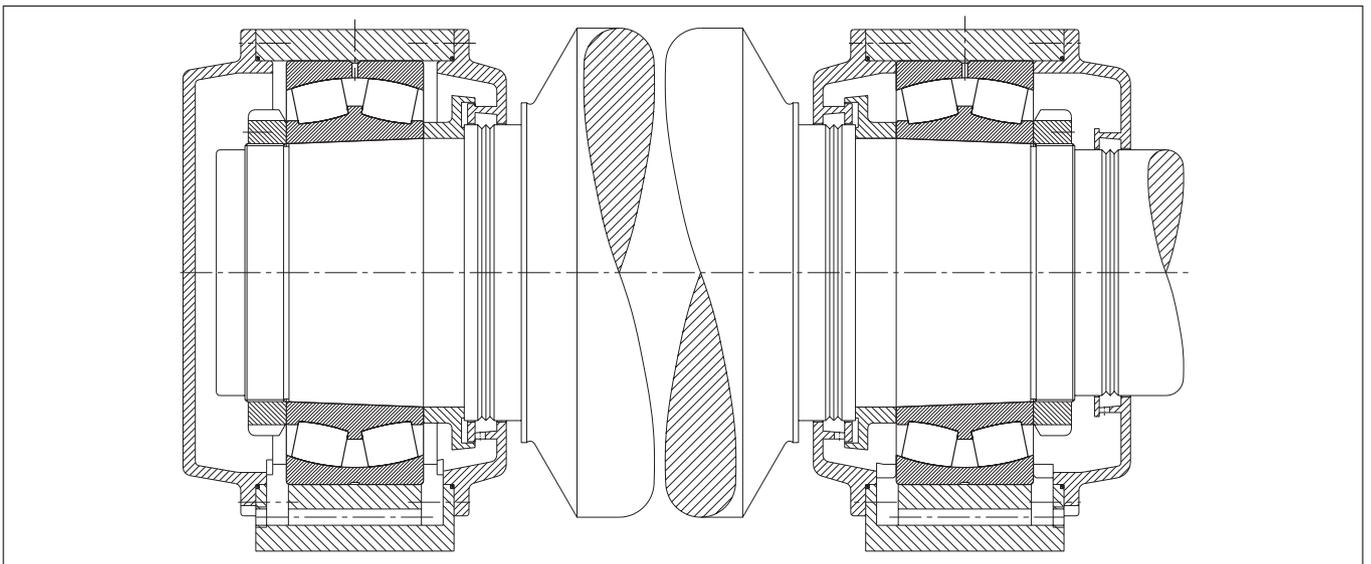
Obturaciones

En ambos extremos de los cilindros unos anillos angulares evitan las fugas de

Cortesía de Voith



aceite en los agujeros de las tapas pasantes. Todo el aceite que tiende a escapar es expulsado mediante unas ranuras que proyectan el aceite y lo devuelven a una cámara. Unas tapas obturadoras hacen los soportes impermeables al aceite.



Ejemplos de disposiciones de rodamientos para máquinas papeleras

Calandra y grupo de acabado

3.3.2 Rodillos extensores

La banda de papel, que es transportada en dirección longitudinal, tiende a crear pliegues y arrugas. Los cilindros extensores estiran o dilatan el papel en dirección transversal en todo el ancho de la lámina de papel y eliminan las arrugas rodando sobre dicha lámina. Los rodillos extensores constan de un eje estacionario, que está curvado simétricamente respecto a su eje longitudinal y alrededor del cual gira la cubierta del cilindro. La cubierta del rodillo está formada por secciones tubulares, que giran libremente y tienen libertad angular. Las diferentes secciones se ajustan una a otra de tal manera que la forma curvada del eje es reflejada en la cubierta del rodillo. Según el caso de aplicación, los componentes de la sección húmeda, la sección de secado y el grupo de acabado, están fabricados en acero inoxidable o bien están recubiertos con un material elástico (p. ej. goma).

Datos técnicos

Longitud de los cilindros 8.300 mm, formados por 22 secciones; peso de cada sección más la tensión del fieltro, con un ángulo de abrazado de 30°: 2 kN; con esto se obtiene una carga sobre los rodamientos de 0,5 kN. La velocidad de rotación de los rodillos es de 1.160 min⁻¹.

La temperatura de funcionamiento en la sección húmeda es de 40° C y en las

secciones de secado y de acabado, con un sistema de secado por infrarrojos, se pueden alcanzar temperaturas de hasta 120° C.

Selección de rodamientos, dimensionado

Con anillo exterior giratorio, se requiere una extremada suavidad de rotación para los rodamientos, ya que los componentes tubulares de los cilindros de las secciones húmeda, de secado y de acabado están accionados únicamente por la tensión del fieltro y de la lámina de papel.

Se exige una elevada fiabilidad de funcionamiento, puesto que la avería de un solo rodamiento significa tener que desmontar todo el rodillo extensor.

Se utilizan rodamientos rígidos a bolas FAG 61936.C3. Para nuevas aplicaciones con elevadas velocidades de rotación (valores $n \cdot d_m$ de $0,6 \cdot 10^6$ hasta $1 \cdot 10^6$ min⁻¹ · mm) se seleccionan rodamientos rígidos a bolas con bolas de cerámica (rodamientos híbridos). El juego radial aumentado, C3, permite la fácil alineación de las diferentes secciones tubulares. Con cargas reducidas, los rodamientos tienen una duración de vida nominal L_h muy superior a las 100.000 horas.

Tolerancias de mecanizado

Como los anillos exteriores de los rodamientos giran junto con la cubierta del rodillo, se precisa un ajuste forzado, con tolerancia M6 y se aseguran axialmente

mediante anillos elásticos.

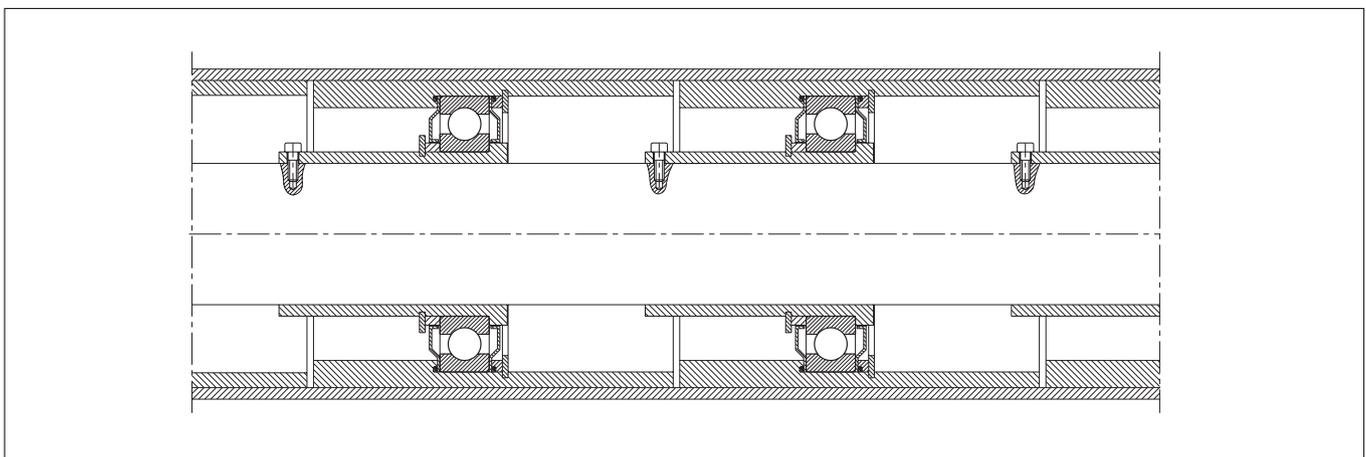
Los anillos interiores soportan una carga puntual y se montan sobre los manguitos del eje con tolerancia h6. Debido a la curvatura del rodillo, y por razones de montaje, los manguitos se ajustan holgada y libremente sobre el eje y se aseguran con un tornillo.

Lubricación

Los rodamientos están engrasados de por vida, por lo que no precisan ningún reengrase. La selección de la grasa lubricante y de la cantidad de llenado de la misma están determinadas por la necesidad de una rotación suave y por una duración en servicio de hasta cinco años (8.000 horas de funcionamiento al año). Con elevadas velocidades y cargas reducidas, son recomendables las grasas con bajo rozamiento (p.ej. grasa FAG Arcanol SPEED2,6).

Obturaciones

Debido a las exigencias de suavidad de rotación, se emplean tapas de protección, sin rozamiento. Dichas tapas están fijadas por ambos lados del anillo exterior del rodamiento, de forma que el aceite base que se pueda centrifugar de la grasa lubricante, no pueda escapar. Adicionalmente, se montan juntas tóricas para asegurar la estanqueidad del aceite.



4 Servicio FAG para un funcionamiento más seguro

FAG ofrece una amplia gama de equipos, dispositivos y servicios. El trabajo con los rodamientos se facilita mediante los dispositivos FAG de medición y montaje. Con los aparatos de diagnóstico se puede monitorizar el estado de los rodamientos. En montajes difíciles y en monitorizaciones complicadas, el servicio FAG de montaje y diagnóstico ayuda in situ en estas tareas.

La ingeniería de aplicaciones de FAG proporciona asesoramiento y formación relacionados con todos los aspectos de la tecnología de los rodamientos.

4.1 Almacenaje de rodamientos

Para evitar la contaminación y la suciedad, los rodamientos deben mantenerse en su embalaje original hasta justo antes del montaje. Los grandes rodamientos, como los que se encuentran en las máquinas de papel, se almacenan en un almacén aparte, seco y con los rodamientos en posición horizontal, apoyados en la totalidad de su perímetro.

El embalaje de los rodamientos contiene agentes anti-corrosivos, con objeto de que las propiedades de los mismos sean preservadas durante un largo período de tiempo. Dichos agentes anti-corrosivos son compatibles con los lubricantes clásicos empleados en la industria del papel y no es necesario lavar los rodamientos antes del montaje.

Durante el almacenaje, se deben evitar los medios agresivos, como p.ej. gases, niebla o vapores de ácidos, soluciones alcalinas o sales. También debe evitarse la exposición directa al sol, así como las grandes variaciones de temperatura.

Bajo las condiciones estándar de conservación, el período de almacenaje admisible es de hasta 5 años. Sobre consulta, FAG facilita información sobre conservación especial y sobre las posibilidades de utilización de rodamientos antiguos.

Para obtener información más detallada sobre el amacenaje de rodamientos FAG y sobre grasas, ver el catálogo WL 41 520/3 SB "Rodamientos FAG".

4.2 Preparaciones para el montaje y el desmontaje

Las necesarias preparaciones para el montaje y el desmontaje de rodamientos se indican con detalle en la publicación FAG WL 80 100/3 SB "Montaje de rodamientos".

Antes de desembalar el rodamiento, todos los componentes y partes implicadas deben comprobarse en su precisión dimensional y de forma.

Para comprobar los asientos en el eje de grandes rodamientos, normalmente se utiliza un micrómetro de exteriores.

Para verificar los agujeros de los alojamientos se emplea un micrómetro de interiores o un instrumento de medición de agujeros.

Verificación de un agujero de alojamiento con un micrómetro de interiores.



4.3 Montaje y desmontaje en superficies cilíndricas y cónicas

Los datos generales para el montaje y el desmontaje de rodamientos se indican en la publicación FAG WL 80 100/3 SB "Montaje de rodamientos".

Para el montaje de los rodamientos en la industria del papel, normalmente se emplean los métodos hidráulico y térmico. Ver también la publicación FAG WL 80 200 "Métodos y dispositivos para el montaje y el mantenimiento de rodamientos".

4.3.1 Montaje y desmontaje en superficies cilíndricas

Montaje: Los rodamientos que requieren un ajuste forzado en un eje cilíndri-

co, se calientan y se asientan sobre el eje. Para un montaje más cómodo (ver sección 4.4) es suficiente una temperatura de 80 hasta 100° C. No debe superarse la temperatura máx de 120° C.

Los dispositivos de calentamiento por inducción permiten calentamientos rápidos, limpios y seguros. Los aparatos de calentamiento FAG HEATER20 (ver también WL 80 250/2 SB) son adecuados para rodamientos con agujero a partir de 20 mm y con un peso de hasta 20 kg.

Aparato de calentamiento por inducción FAG HEATER20



Los rodamientos de todos los tipos y tamaños también pueden ser calentados en un baño de aceite. Desventajas: peligro de accidentes, contaminación ambiental por vapores de aceite, inflamabilidad del aceite caliente, peligro de ensuciamiento del rodamiento y reciclaje costoso del aceite usado.

Desmontaje: Para extraer rodamientos pequeños son adecuadas las herramientas de desmontaje mecánicas o las prensas hidráulicas.

Durante el desmontaje, el anillo interior debe ser calentado con un quemador anular sólo en caso de emergencia y cuando en el eje no existan ranuras ni agujeros de aceite para el método hidráulico. Deben adoptarse cuidados extremos ya que los anillos del rodamiento son muy sensibles a los calentamientos no uniformes y a los sobrecalentamientos locales.

Los rodamientos pueden ser montados a presión en asientos cilíndricos con la ayuda del método hidráulico (ver sección 4.3.2).

Servicio FAG para un funcionamiento más seguro

Montaje y desmontaje

4.3.2 Montaje y desmontaje en superficies cónicas

Montaje: En la actualidad, los rodamientos en las máquinas papeleras se montan, en general, directamente sobre manguetas cónicas. Las grandes y anchas máquinas, con altas velocidades de papel, requieren elevadas precisiones de rotación. Por ello, el asiento directo es ventajoso, ya que solamente existen dos superficies de ajuste.

Si las exigencias de precisión de rotación no son tan elevadas, pueden utilizarse manguitos de fijación o de desmontaje. En este caso, hay cuatro superficies de ajuste.

El ajuste deseado se obtiene presionando axialmente el anillo interior o bien el manguito de desmontaje entre el anillo interior y el eje. La reducción del juego radial del rodamiento, debida a la expansión del anillo interior, indica si el ajuste previsto ha sido alcanzado.

Primero, el juego radial se mide antes del montaje. Durante el ajuste, el juego radial se controla constantemente, hasta que se alcanza el valor deseado. También es posible medir el desplazamiento axial en lugar de verificar la reducción del juego radial.

El juego radial se puede verificar mediante las galgas de espesores. En el caso de los rodamientos oscilantes de rodillos, se debe asegurar que la medición del juego radial (G_r) se efectúa al mismo tiempo sobre ambas hileras de rodillos. Sólo cuando los valores de juego radial son iguales para ambas hileras, puede ser cierto que el anillo interior no se desplaza lateralmente con relación al anillo exterior.

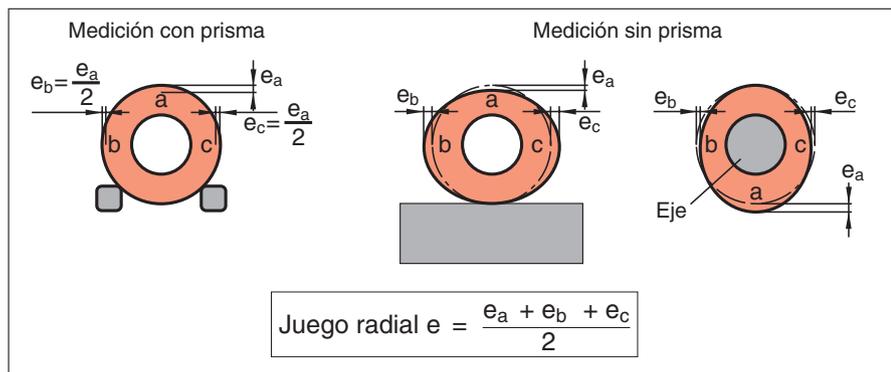
En grandes rodamientos oscilantes de rodillos ($d > 500$ mm), el juego radial se mide en tres puntos, a causa de la deformación del anillo del rodamiento, ver esquema.

Para el montaje de grandes rodamientos sobre los asientos cónicos o para ajustarlos sobre manguitos de desmontaje, se utilizan las **tuercas hidráulicas**, ver la publicación WL 80 103/5 “Tuercas hidráulicas FAG”. La tuerca hidráulica se enrosca en la rosca del eje o en la del manguito. Mediante la presión del aceite, el anillo anular de la tuerca hidráulica presiona el rodamiento sobre el asiento cónico o bien aprieta el manguito entre el agujero del rodamiento y el eje.

Si el juego radial no ha podido ser medido con las galgas de espesores, puede emplearse el instrumento FAG de medición del desplazamiento HYD.NUT.DISPLACE.GAUGE. Este instrumento se atornilla en la cara frontal de la tuerca hidráulica.



Medición del juego radial de grandes rodamientos oscilantes de rodillos



El **método hidráulico** facilita notablemente el montaje y, especialmente, el desmontaje de rodamientos con un agujero a partir de 160 mm. No obstante, para ello deben preverse ranuras de aceite y canales de conducción, así como roscas para la conexión de los generadores de presión. Para más información, ver la publicación FAG WL 80 102/6 “Montaje y desmontaje de rodamientos mediante el método hidráulico”.

Para el **montaje**, se recomienda aceite con una viscosidad de ≈ 75 mm²/s a 20° C (viscosidad nominal 32 mm²/s a 40° C). Cuando el rodamiento está montado directamente en el eje cónico, se necesitan pequeñas cantidades de aceite. Es suficiente la simple inyección de un volumen pequeño de aceite.

Los grandes manguitos de fijación o de desmontaje (ejecuciones HG o H, ver catálogo WL 41 520/3 SB) disponen de agujeros y de ranuras de aceite para el método hidráulico. Las fugas de aceite a través de los bordes de las superficies de ajuste hacen que sea necesario un suministro de gran cantidad de aceite, por lo que debe utilizarse una bomba.

El método hidráulico es especialmente ventajoso en el **desmontaje** de grandes rodamientos. Tan pronto como una película continua de aceite se ha formado entre las superficies de ajuste, el anillo del rodamiento se desclava bruscamente del eje, debido a la fuerza axial resultante. Debe preverse un tope axial, con objeto de evitar accidentes.

Para el desmontaje de rodamientos ajustados directamente en los ejes cónicos, es suficiente un sencillo inyector con un volumen reducido de aceite, pero si los rodamientos están montados sobre manguitos, es necesaria una bomba.

Para el desmontaje, se recomienda aceite con una viscosidad de ≈ 150 mm²/s a 20° C (viscosidad nominal 46 mm²/s a 40° C). Si las superficies de ajuste están dañadas, se recomienda aceite para engranajes con una viscosidad elevada, de ≈ 1.150 mm²/s a 20° C (viscosidad nominal 320 mm²/s a 40° C). La oxidación de ajuste se puede eliminar mediante aditivos anticorrosión en el aceite.

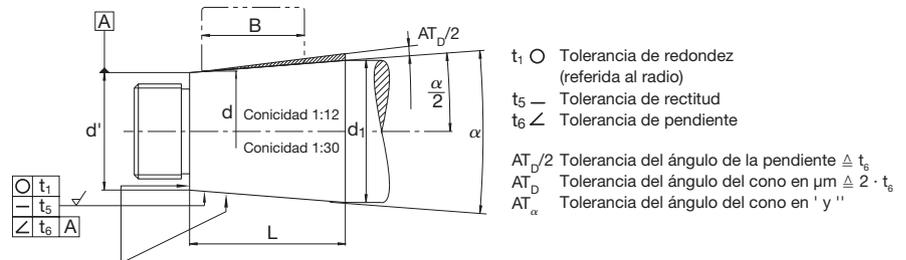
4.4 Ajustes y tolerancias

Una directriz general para la selección de los ajustes correctos se puede encontrar en el catálogo FAG WL 41520/3 SB.

La tolerancia G7 se utiliza normalmente para los agujeros de los alojamientos. Por ejemplo, los soportes para máquinas de papel PM30, PMD, PMDR y PMF, están mecanizados según G7.

En el caso de manguetas cónicas, el diámetro cónico debe ser determinado de tal manera que el rodamiento, después del montaje a presión, quede situado en la posición correcta. En la determinación del diámetro cónico - la medida de referencia es el diámetro menor - debe tenerse en cuenta la expansión necesaria del anillo interior para obtener el ajuste fijo del mismo. Esta expansión del anillo interior reduce el juego radial del rodamiento. Hay que tener en cuenta que, incluso con ejes macizos de acero, el juego radial no se reduce en la totalidad del valor de la interferencia del asiento cónico. Incluso pequeños valores de expansión se obtienen con ejes huecos o con ejes de fundición gris. En estos casos, el diámetro cónico debe ser aumentado de forma adecuada. También deben tenerse en cuenta las tolerancias dimensionales del rodamiento y las tolerancias de mecanizado. El desplazamiento axial se comprueba mediante las variaciones de distancia entre la cara frontal del cono y el diámetro menor del anillo interior. En las siguientes tablas se indican las tolerancias dimensionales y de forma recomendadas.

Tolerancias para los ejes cónicos



La superficie de tope para el instrumento de medición de conos y la superficie cónica deben ser mecanizadas en una sola fijación

Medida nominal del eje		Tolerancia del diámetro k6		Tolerancia de redondez (IT5)/2 DIN ISO 1101	Tolerancia de rectitud IT3
más de mm	hasta	mín. μm	máx.	μm	μm
80	120	+3	+25	7,5	6
120	180	+3	+28	9	8
180	250	+4	+33	10	10
250	315	+4	+36	11,5	12
315	400	+4	+40	12,5	13
400	500	+5	+45	13,5	15
500	630	0	+44	14,5	(17)
630	800	0	+50	16	(19)
800	1000	0	+56	18	(21)

(Valores entre paréntesis según FAG)

Tolerancias del ángulo del cono

Medida nominal del ancho B del rodamiento Tolerancia del ángulo del cono según AT7 (DIN 7178)

más de mm	hasta	AT_α Segundos de ángulo	AT_D μm
40	63	+65	0/+12,5...0/+20
63	100	+52	0/+16...0/+25
100	160	+41	0/+20...0/+32
160	250	+33	0/+25...0/+40
250	400	+26	0/+32...0/+50

Servicio FAG para un funcionamiento más seguro

Ajustes y tolerancias

Cálculo de pequeños diámetros cónicos para las manguetas

$$d' = d + \Delta R \cdot 1/(d_m/h) \cdot 1/f_i \cdot w + G' + \Delta_{dmp}/2 + L \cdot 1/k \text{ [mm]}$$

d'	Diámetro menor del cono de la mangueta [mm]
d	Medida nominal del agujero del rodamiento [mm]
ΔR	Valor medio de la reducción del juego radial (tabla 1) [mm]
d_m/h	Relación de espesores de pared del anillo interior (tabla 2)
$1/f_i$	Factor de corrección para manguetas huecas de acero (diagrama 3) = 1 para ejes macizos
w	Factor de corrección para diferentes materiales de las manguetas (diagrama 4)
G'	Valor de la calidad superficial relativa al diámetro = $2 \cdot 0,6 \cdot R_z$ (tabla 5) [mm]
Δ_{dmp}	Tolerancia de la medida nominal del agujero del rodamiento (tabla 6) [mm]
L	Distancia entre la cara frontal del rodamiento montado y la mangueta [mm] (Caso normal: la cara frontal del rodamiento montado está enrasada con la cara de la mangueta, es decir, $L = 0$)
$1/k$	Relación de conicidades (= 0,0833 para conicidad 1:12, = 0,0333 para conicidad 1:30)

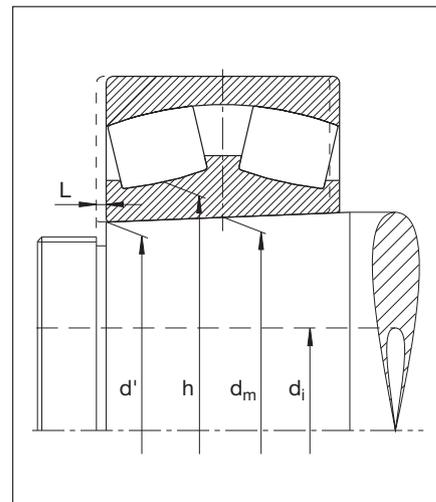


Tabla 1: Reducción de juego radial ΔR

Medida nominal del agujero del rodamiento d		Reducción de juego radial			
		Rodamientos oscilantes de rodillos		Rodamientos de rodillos cilíndricos	
más de mm	hasta mm	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm
50	65	0,03	0,04	0,03	0,035
65	80	0,04	0,05	0,035	0,04
80	100	0,045	0,06	0,04	0,045
100	120	0,05	0,07	0,045	0,055
120	140	0,065	0,09	0,055	0,065
140	160	0,075	0,1	0,06	0,075
160	180	0,08	0,11	0,065	0,085
180	200	0,09	0,13	0,075	0,095
200	225	0,1	0,14	0,085	0,105
225	250	0,11	0,15	0,095	0,115
250	280	0,12	0,17	0,105	0,125
280	315	0,13	0,19	0,115	0,14
315	355	0,15	0,21	0,13	0,16
355	400	0,17	0,23	0,14	0,17
400	450	0,2	0,26	0,15	0,185
450	500	0,21	0,28	0,16	0,195
500	560	0,24	0,32	0,17	0,215
560	630	0,26	0,35	0,185	0,24
630	710	0,3	0,4	0,2	0,26
710	800	0,34	0,45	0,22	0,28
800	900	0,37	0,5	0,24	0,31
900	1000	0,41	0,55	0,26	0,34

Tabla 2: Relación de espesores de pared para anillos interiores con $d > 50$ mm

Serie de rodamientos d_m/h

Rodamientos oscilantes de rodillos

239	0,91
230	0,88
231	0,85
232	0,83
240	0,88
241	0,87
222	0,84
223	0,78

Rodamientos de rodillos cilíndricos

NU10	0,87
NU2	0,85
NU3	0,78
NU4	0,73
NU30	0,89

Diagrama 3: Factor de corrección $1/f_i$ para manguetas huecas (acero)

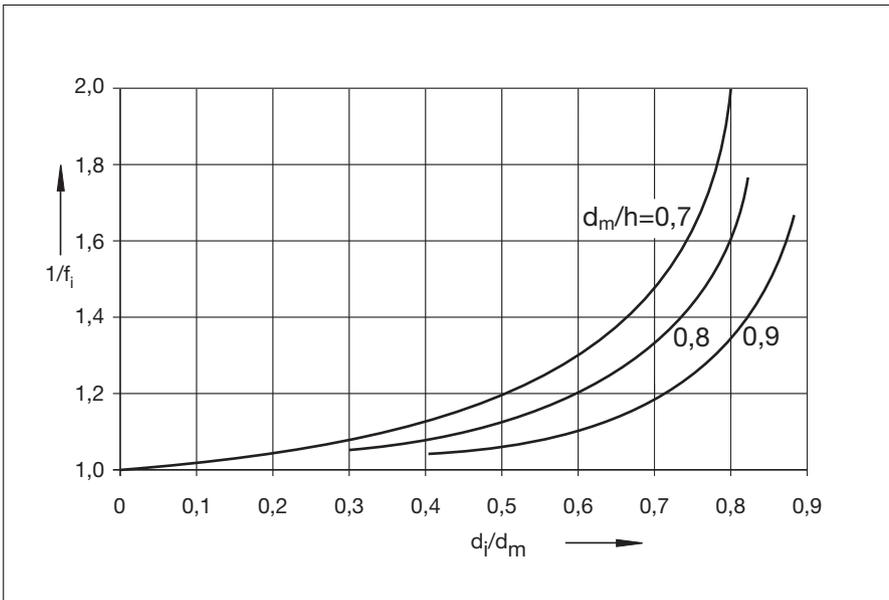


Tabla 5: Valores G' de calidad superficial relativa al diámetro

Mecanizado	Calidad superficial G' mm
Pulido	0
Rectificado muy fino	0,001
Rectificado	0,0025
Torneado muy fino	0,005
Torneado	0,007

Diagrama 4: Factor de corrección w para diferentes materiales
GG = fundición gris, GGG = fundición esferoidal o nodular, St = acero

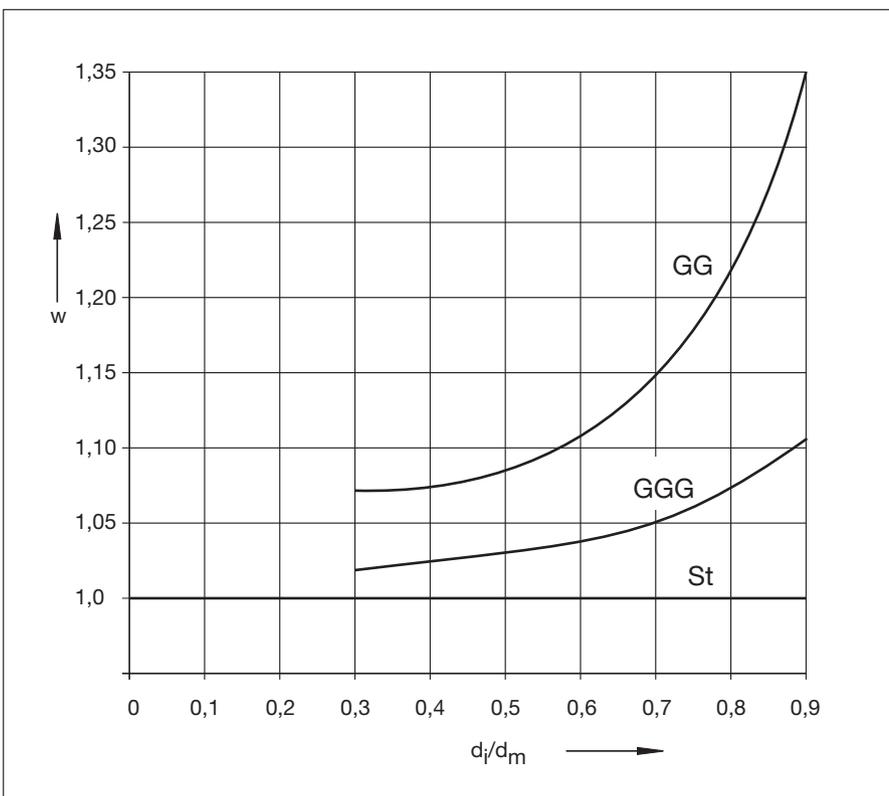


Tabla 6: Tolerancias Δ_{dmp} del agujero del rodamiento

Medida nominal del agujero del rodamiento más de mm	hasta mm	Tolerancias μm
50	80	0/+30
80	120	0/+35
120	180	0/+40
180	250	0/+46
250	315	0/+52
315	400	0/+57
400	500	0/+63
500	630	0/+70
630	800	0/+80
800	1000	0/+90

Servicio FAG para un funcionamiento más seguro

Monitorización y análisis de rodamientos

4.5 Monitorización y análisis de rodamientos

Los rodamientos en las máquinas de papel deben ser monitorizados con objeto de evitar elevados costes en reparaciones y cuantiosas pérdidas de producción. La duración de funcionamiento de los rodamientos y la disponibilidad de las máquinas pueden ser optimizados sólo cuando los rodamientos han tenido un mantenimiento basado en su estado. Esto presupone, sin embargo, el reconocimiento a tiempo de las averías en los rodamientos, la evaluación del alcance de los daños y el seguimiento del proceso de la avería. El mantenimiento basado en la condición significa que los rodamientos pueden ser sustituidos durante las paradas previstas de la máquina, evitando así las costosas paradas no planificadas.

4.5.1 FAG Detector III

El FAG Detector III está indicado, principalmente, para los rodamientos de los grupos auxiliares y periféricos de las máquinas de papel, en los que se espera la fuerte influencia y las perturbaciones de otros elementos de máquina.

Este aparato de mediciones, manual y económico, es muy fácil de manejar. Se caracteriza por su reducido peso.

En primer lugar, el sensor de aceleración se coloca en la posición del rodamiento, para ser monitorizado. Tras una ronda de mediciones, los valores medidos, que se utilizan para evaluar el estado y la condición de la máquina, son transmiti-

FAG Detector III



dos a un ordenador, donde son interpretados, analizados y representados en un gráfico con el software "Trendline 3".

Para cada punto de medición, el software compara los nuevos valores característicos medidos con los valores límite de la alarma principal, especificados para ese punto de medición. Si uno de estos valores umbral es sobrepasado, el software lo indica inmediatamente.

Los nuevos valores característicos pueden ser mostrados gráficamente durante el tiempo de la medición.

Con ayuda de un análisis de tendencia, el usuario puede estimar cuándo se activará una alarma.

Puede obtenerse, sobre consulta, información más detallada del Detector III.

4.5.2 Sistema VibroCheck

El sistema de monitorización online FAG VibroCheck permite un gran número de puntos de medición, para ser continuamente monitorizados en el PC. Los sensores de vibración situados en los puntos donde hay montados rodamientos, conducen las señales a los módulos de monitorización (módulos VC). Las señales se transfieren mediante el PC a la estación de control de la máquina de papel o, si es necesario, via módem al departamento de servicio FAG. Cuando se alcanza un límite de alarma, un sistema experto efectúa un diagnóstico automático, con un alto grado de fiabilidad.

FAG Detector III Kit



FAG VibroCheck

FAG VibroCheck		Führerseite	Triebseite
Sieb 3 & 5			
Sieb 1 & 2			
Pressenpartie			
Vortrockengruppe 1 & 2			
Vortrockengruppe 3 & 4			
Glätzzyl. & 3,2m Zyl.			
Nachtrockengruppe 1+2			
Streichanlage			
Kühl- & Schlussgruppe			
Konstanter Teil			

Online Monitoring System

Legende:

- OK
- Warn
- Alarm

4.5.3 Análisis de rodamientos

La causa de las averías de los rodamientos y la posibilidad de evitar más fallos en el futuro, puede ser aclarada al desmontar de la máquina un rodamiento dañado. Si la causa de la avería no puede ser determinada por el operador de la máquina ni por el técnico comercial local de FAG, el rodamiento debe ser enviado a FAG para su inspección.

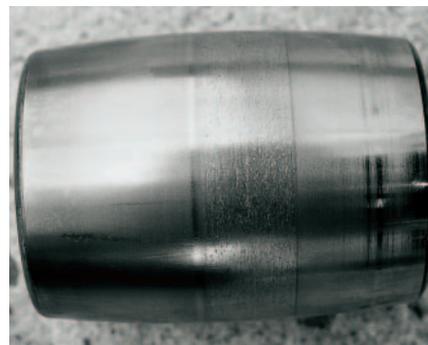
Los siguientes datos serán aportados al devolver el rodamiento dañado:

1. Empresa Nombre, dirección, departamento
2. Aplicación
- 2.1 Máquina
- 2.2 Punto exacto de montaje (p. ej. rodillo guía, sección de secado, rodamiento fijo o bien libre)
- 2.3 Fabricante de la máquina
- 2.4 Tiempo de servicio
- 2.5 Datos de la máquina (producto, longitud, anchura)
- 2.6 Número de fallos de rodamientos, hasta ahora, en esta posición/sección
3. Condiciones de funcionamiento
 - Diámetro de los cilindros
 - Velocidad del papel
 - Longitud de los cilindros
 - Velocidad de giro
 - Carga radial (axial)
 - Tiempo de servicio por día
 - Lubricación (tipo, clase de aceite, tipo de grasa, cantidad, período de relubricación)
 - Plano de las posiciones de los rodamientos (ajustes, obturaciones, etc.)
4. Rodamientos
 - Referencia (con todos los sufijos)
 - Duración de servicio hasta la avería (¿cuándo se montó?)
 - ¿Quién efectuó el montaje?
 - Aspecto del rodamiento dañado (anillo interior o exterior, rodillos, jaula) si es posible, fotos y croquis
 - ¿Cómo se han reconocido los daños?

Pistas de rodadura pulidas a causa de la presión y primeras etapas de desgaste en el anillo exterior de un rodamiento oscilante de rodillos; montaje en el lado operativo de un cilindro secador. Causa: excesiva cantidad de agua en el aceite lubricante



Daños por deslizamiento en el rodillo de un rodamiento oscilante de rodillos, montado en un cilindro aspirador. Causa: carga muy reducida y grasa lubricante no apropiada



Corrosión estática en la pista de rodadura del anillo exterior de un rodamiento oscilante de rodillos. Causa: excesiva cantidad de agua en la grasa lubricante



Puede encontrarse información más detallada sobre las averías y la inspección de rodamientos usados en la publicación FAG WL 82 102/2 SB "Averías de los rodamientos".

Servicio FAG para un funcionamiento más seguro

Programas PC · Servicio de montaje · Formación

4.6 Programas PC para el cálculo y el dimensionado de rodamientos.

El deseo de una mayor seguridad de funcionamiento comienza mucho antes de que el rodamiento sea montado. La primera fase siempre es la selección del rodamiento adecuado.

Para el cálculo y selección de rodamientos, el **catálogo de productos FAG en CD-ROM "medias®"** es una herramienta mucho más eficaz que el actual catálogo impreso. El usuario dispone de un completo sistema de consultas que le conduce - con la guía de usuarios de WINDOWS - hasta la relación de productos estándar de FAG, listos para ser pedidos. Se pueden calcular tanto la duración de vida nominal como la duración de vida modificada, así como la velocidad admisible, las frecuencias propias (importantes para el diagnóstico de los rodamientos), el balance térmico y el volumen necesario de aceite.

Con la versión 4.3 de este catálogo en CD-ROM los ficheros en formato DXF y DWG de los productos seleccionados pueden ser generados e importados hasta su programa de diseño CAD. Las páginas con las tablas de los rodamientos pueden ser impresas, con los datos de capacidades de carga, plan de dimensiones y las medidas constructivas de cada producto.

FAG también suministra numerosos **programas de cálculo** especiales. Se puede calcular, p.ej.:

- Modificaciones en el juego de los rodamientos
- Elasticidad y rigidez de los rodamientos
- Flexión de los ejes

Para más información sobre estos programas PC, ver TI WL 49-41.

4.7 Servicio FAG de montaje

Sobre consulta, el Servicio de montadores FAG se ocupa del montaje y el desmontaje de todos los rodamientos en las máquinas de papel, de la verificación de todas las zonas de ajuste (manguetas, alojamientos), de la búsqueda de errores

cuando los rodamientos no funcionan correctamente, de la formación del personal de montaje y de la aportación de medidas de racionalización para los procesos de montaje. Los montadores ayudan también, in situ, en la selección de las herramientas más adecuadas y adiestran en el manejo de los dispositivos y aparatos de montaje.

4.8 Cursos FAG de formación

Un buen nivel de conocimientos técnicos ayuda a incrementar la duración de servicio de los rodamientos y a evitar las averías de los mismos.

Desde hace años, FAG ha impartido formaciones prácticas, cursos y seminarios sobre la tecnología de los rodamientos. Estas formaciones se han desarrollado en FAG, en las instalaciones de los distribuidores de FAG y directamente en las fábricas de papel. Los seminarios in situ tienen la ventaja de que los participantes ahorran, tanto en gastos de viaje, como en tiempo de desplazamientos.

Los módulos de formación para las fábricas de papel son:

- Seminario básico de rodamientos
- Formación sobre montaje y desmontaje
- Recomendaciones para la lubricación
- Seminario sobre análisis de averías
- Seminarios individuales a medida del

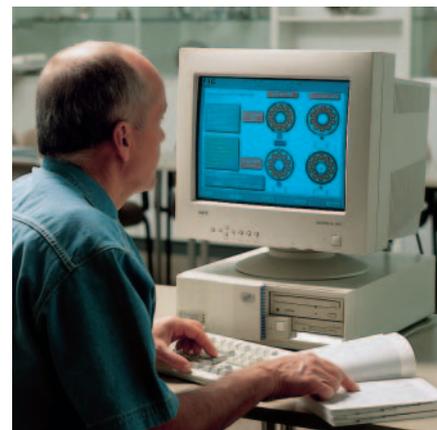
Cursos FAG de formación



cliente, en sus instalaciones

FAG ha desarrollado el software **W.L.S.** con un programa de guía interactiva, para el aprendizaje en solitario en un ordenador. Este programa de aprendizaje conduce a sólidos conocimientos básicos sobre las propiedades de los diferentes tipos de rodamientos, el sistema de codificación y referencias, el montaje de los rodamientos y los métodos para evitar las averías. El paquete completo de software es adecuado para todas aquellas personas relacionadas con los rodamientos, ya sea en Compras, en Logística y gestión de materiales, en Investigación y Desarrollo o en Mantenimiento.

Sistema de aprendizaje de rodamientos W.L.S.



Para formación, asesoramiento y servicio, están disponibles algunos **vídeos FAG**, p.ej.:

- Montaje y desmontaje de rodamientos.
- Método hidráulico para el montaje y el desmontaje de grandes rodamientos
- Dispositivos de calentamiento por inducción para el montaje de grandes rodamientos
- Sustitución de rodamientos con el rodamiento partido oscilante de rodillos FAG 222SM

Para más vídeos, ver TI WL 00-11.

4.9 Selección de otras publicaciones FAG

Catálogo

WL 41 520/3 SB Rodamientos FAG

Publ. N°

WL 13 111	Rodamientos de rodillos cilíndricos FAG, autoalineables, para los cilindros secadores / satinadores y para los rodillos guía en máquinas papeleras.
WL 13 112	Colaboración en papel
WL 13 501	Disposición de rodamientos para un cilindro M.G. en una máquina de papel
WL 13 502	Rodamiento FAG oscilante de rodillos en un molino de madera
WL 13 503	Rodamiento FAG oscilante de rodillos en los cilindros de fieltro, en la sección de secado de las máquinas papeleras.
WL 13 504	Capacidad aumentada en una máquina de papel finlandesa
WL 13 505	Disposición de rodamientos en un grupo de refino, con rodamientos FAG de rodillos cilíndricos
WL 13 506	Rodamientos de los cilindros de crepado en una máquina de papel Tissue
WL 13 507	Incremento de la producción de las máquinas de papel mediante la modificación a rodamientos FAG en la sección de secado
WL 13 508	Los rodamientos partidos FAG oscilantes de rodillos reducen los tiempos de parada en las sustituciones de rodamientos en los cilindros secadores de las máquinas de papel
WL 13 509	Rodamientos FAG rígidos a bolas para los cilindros extensores de las máquinas de papel
WL 13 510	Considerable reducción de energía en los cilindros secadores de las máquinas de papel mediante la sustitución de los casquillos de fricción por rodamientos
WL 13 511	Los rodamientos de los cilindros secadores de una fábrica finlandesa de cartón han trabajado eficazmente durante más de 10 años
WL 13 512	Los rodamientos partidos FAG oscilantes de rodillos reducen los tiempos de parada en los agitadores de las fábricas de papel
WL 13 513	Rodamientos híbridos FAG para los cilindros extensores
WL 13 514	Rodamientos FAG oscilantes de bolas para los rodillos flotantes de las calandras
WL 43 165/3	Rodamientos partidos FAG oscilantes de rodillos
WL 80 100/3	Montaje de rodamientos
WL 80 102/6	Cómo montar y desmontar rodamientos hidráulicamente
WL 80 103/5	Tuercas hidráulicas FAG
WL 80 137	Diagnóstico de rodamientos con el FAG Detector
WL 80 151	Servicio de reparación para rodamientos grandes
WL 81 115/4	Lubricación de rodamientos
WL 82 102/2	Averías de los rodamientos

TIN°

WL 13-1	Soportes para los cilindros secadores de las máquinas de papel
WL 13-2	Soportes PMF para los rodillos guía de las máquinas de papel
WL 43-1192	Rodamientos FAG de tres anillos para la industria del papel
WL 49-41	Programas FAG para PC
WL 62-1	“Doping” para la superficie - Recubrimientos FAG para rodamientos
WL 80-14	Montaje y desmontaje de rodamientos oscilantes de rodillos con agujero cónico
WL 80-46	Sets de bomba manual FAG
WL 80-47	Calentadores por inducción FAG
WL 80-48	Extractores mecánicos FAG

Dimensionado y lubricación de los rodamientos

Dimensionado

5 Dimensionado y lubricación de los rodamientos

5.1 Dimensionado

Mediante el cálculo del dimensionado se comprueba que se cumplen las exigencias requeridas en cuanto a duración de vida y rentabilidad de los rodamientos. Los rodamientos de las máquinas de papel normalmente soportan tensiones dinámicas. Los anillos de estos rodamientos giran uno respecto al otro.

El cálculo de la duración de vida nominal L_h para los rodamientos cargados dinámicamente se muestra en detalle en el catálogo WL 41 520/3 SB "Rodamientos FAG". En este proceso de cálculo de las condiciones de funcionamiento, únicamente se tienen en cuenta la carga sobre el rodamiento y su velocidad de rotación. Sin embargo, la duración de vida realmente alcanzable depende de otra serie de influencias.

Basándose en el cálculo de la duración de vida modificada según DIN ISO 281, FAG ha desarrollado un detallado proceso para determinar la duración de vida alcanzable L_{hna} con el cual las condiciones de funcionamiento, especialmente la limpieza efectiva en la película lubricante, pueden ser expresadas en forma de cifras. El proceso para el cálculo de la duración de vida alcanzable se describe en el catálogo WL 41 520/3 SB.

Valores recomendables para el dimensionado

Para las diversas disposiciones de montaje en las máquinas y equipos utilizados en la producción de pulpa y papel, los valores recomendables para la duración de vida alcanzable L_{hna} se indican en la siguiente tabla. Como comparación, también se indican los valores de duración de vida L_h especificados hasta ahora. Éstos corresponden ampliamente a las recomendaciones de la TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, USA). Como ejemplo, se recomienda un valor L_h de 285.000 horas para los cilindros secadores. Para las disposiciones de

manguetas antiguas, no aisladas, se obtiene una duración de vida alcanzable L_{hna} de aprox. 100.000 horas, con un factor $a_{23} = 0,35$. En modernas máquinas, con unas manguetas estándar aisladas, puede esperarse un valor de duración de vida $L_{hna} > 250.000$ horas, una duración de vida inusualmente elevada.

En contraste, la expectativa de duración de vida para los rodamientos de la sección húmeda es claramente inferior a los 15 años, ya que, en este período de tiempo, son normales los cambios y las modernizaciones.

En el caso de los cilindros secadores, las grandes diferencias de velocidad de servicio juegan un papel importante en el dimensionado. Éstas pueden ser inferiores

a los 800 m/min en máquinas para fabricar cartón y hasta 1.800 m/min para los cilindros secadores de una máquina para fabricar papel de periódico.

Recomendamos, en primer lugar determinar L_h para el rodillo más cargado, teniendo en cuenta la velocidad de rotación (n_k) y la carga dinámica equivalente P (ver página 31).

Para el cálculo de los valores de L_{hna} deben considerarse la velocidad real de servicio y la menor relación de viscosidades κ .

Para los valores de referencia de la temperatura de funcionamiento de los rodamientos (anillo interior) de los cilindros secadores, ver el diagrama de la página 31.

Valores recomendados para el dimensionado de los rodamientos en la producción de papel

Punto de aplicación	Duración de vida alcanzable L_{hna} *) h años**)	
Sección húmeda		
Rodillos formadores, rodillos aspiradores, rodillos guía, rodillos prensa	> 100 000	> 12
Sección de secado (demanda básica: $L_h > 100.000$ h)		
Rodillos guía	> 120 000	> 15
Cilindros secadores	> 250 000	> 30
Cilindros M.G.	> 350 000	> 45
Otros puntos:		
Calandras, cilindros satinadores, bobinadoras	> 80 000	> 10
Rodillos anti-flexión	> 80 000	> 10
Refinos, pulpers	> 80 000	> 10

*) Calculado con $a_{23} = a_{23II}$ y con $s = 1$ para limpieza normal

***) Para 8.000 horas de servicio al año

Carga dinámica equivalente P para rodamientos en máquinas de papel

G Peso del rodillo/cilindro [kN]

F_z Tensión del fieltro/lámina de papel [kN] con 180° de ángulo de abrazado

$f_1 = 1,055$ para llenado temporal de los cilindros secadores y cilindros M.G. con agua de condensación

$f_2 = 1,1$ para cargas axiales actuando sobre el rodamiento fijo (accionamiento, tensión oblicua en el fieltro o en la lámina de papel), cuando no hay valores disponibles

Cilindro secador/cilindro M.G., lado accionamiento:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_1$
 adicionalmente: fuerza de desplazamiento axial en rodamientos oscilantes de rodillos, como apoyos libres, y fuerza desde la junta de vapor con cilindros M.G. mediante descarga de los rodillos de presión.

Cilindro secador/cilindro M.G., lado operario:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_1 \cdot f_2$
 adicionalmente: fuerza radial del accionamiento y fuerza de la conexión de vapor, así como fuerza de desplazamiento axial del rodamiento libre

Rodillos guía:

$$P = (G/2 + F_z) \cdot f_2$$

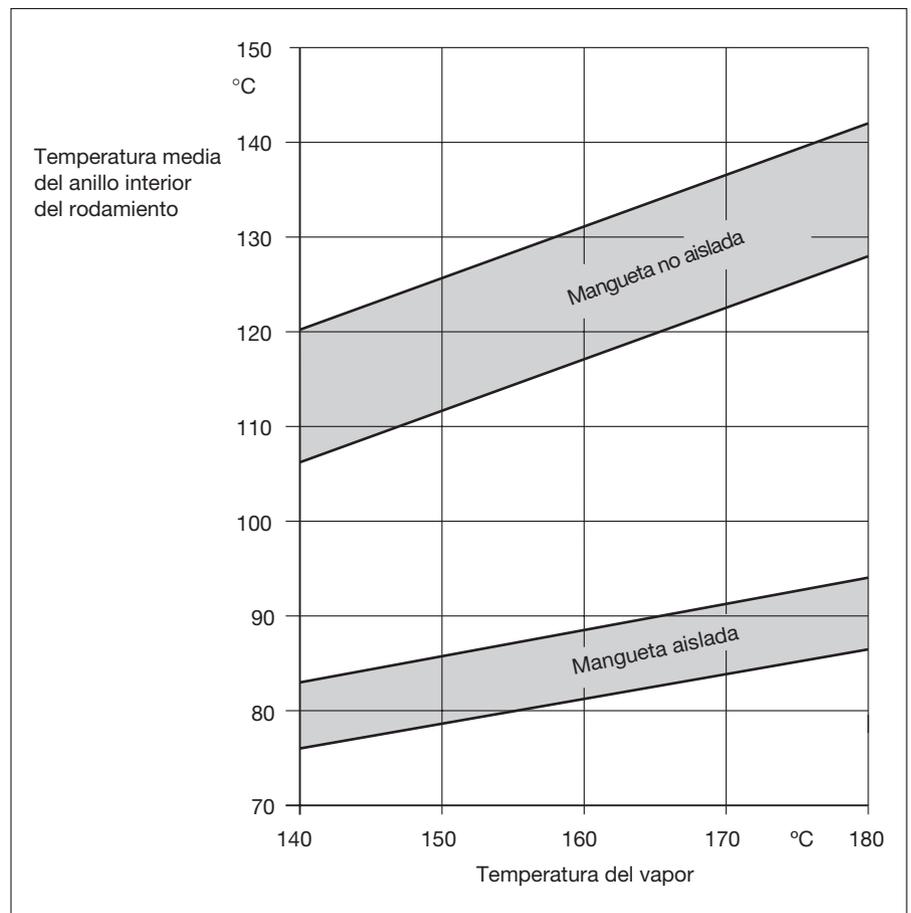
Rodillos aspiradores:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_2$
 adicionalmente: dirección de la fuerza de carga o descarga debida a la presión negativa de la caja de aspiración

Rodillos prensa/rodillos de presión:

$P = (G/2 + F_z) \cdot f_2$
 adicionalmente: dirección de la fuerza de carga o descarga debida a otros rodillos/cilindros

Valores de referencia para la temperatura de los rodamientos de los cilindros secadores, válidos para los tamaños típicos de rodamientos oscilantes de rodillos, lubricados con cantidades mínimas de aceite (sección 5.2.2), en función de la temperatura del vapor y del aislamiento (relación temperatura del vapor/presión del vapor, ver 6.1.3 y 6.1.4).



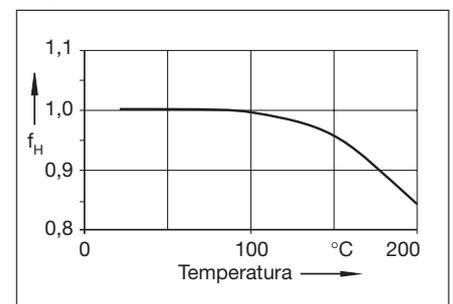
Rodillos de calandras:

$P = G/2 \pm F_{Nip}/2$
 adicionalmente: posición de montaje, tiempo y porcentajes de carga (ver también sección 3.3.1)

Factor de corrección por la reducción de la dureza

A temperaturas de funcionamiento > 100° C, la capacidad de carga dinámica C debe ser multiplicada por el factor f_H , para los rodamientos de las máquinas de papel que han sido termoestabilizados de forma estándar según S1.

Factor de corrección f_H para la consideración del efecto de la temperatura de funcionamiento en la capacidad de carga de los rodamientos de acero al cromo



Dimensionado y lubricación de los rodamientos

Lubricación

5.2 Lubricación de los rodamientos

En las máquinas de papel, las condiciones de funcionamiento y las correspondientes exigencias de lubricación pueden diferir de forma notable de una posición de rodamientos a otra. Por esta razón, la lubricación en la sección 3 se indica con ejemplos de rodamientos. Aquí se describen criterios generales para la lubricación de los rodamientos de las máquinas de papel. La lubricación de los rodamientos se describe en detalle en la publicación FAG WL 81 115/4 SB "Lubricación de rodamientos".

Para la selección del método de lubricación son decisivas la carga, la velocidad de rotación, la temperatura de servicio, las condiciones del entorno, así como la seguridad de funcionamiento. Por ello, para los rodamientos de las máquinas de papel se suele utilizar la lubricación por circulación de aceite y, en menos casos, la lubricación con grasa.

Para la determinación de la disipación de calor del rodamiento, en algunos casos puede ayudar el cálculo del balance térmico (ver publicación WL 81 115/4 SB). La exactitud de dicho cálculo será aceptable sólo cuando los datos de funcionamiento y los correspondientes valores para las relaciones de flujo de calor sean conocidos.

5.2.1 Lubricación con grasa

La lubricación con grasa es posible para rodamientos pequeños y medianos, si la velocidad de rotación y la temperatura no son demasiado elevadas. La ventaja de la lubricación con grasa reside en su escaso esfuerzo constructivo y, adicionalmente, la grasa tiene un efecto obturador. También, el mantenimiento es muy sencillo. Además, se puede contar con un tiempo de funcionamiento más prolongado en caso de rotura o avería del dispositivo de lubricación. En los rodamientos de las máquinas de papel, la lubricación con grasa se utiliza principalmente para aquellos rodamientos de la sección húmeda que, a temperaturas bajas, deben dis-

poner de una buena obturación contra el agua y la suciedad.

Son la excepción los rodamientos engrasados de la sección de secado, en donde las temperaturas son altas y las cargas son muy elevadas.

Selección de grasas

Los criterios para la correcta selección de grasas se pueden encontrar en la publicación FAG WL 81 115/4 SB.

Además de los datos sobre las características de las grasas facilitados por los fabricantes de las mismas, tiene particular importancia la experiencia en el campo de las aplicaciones prácticas de las grasas. Como resultado, FAG ha diseñado un perfil de requisitos y de especificaciones, separadamente para las secciones húmeda y de secado.

Sobre consulta, Vd. puede recibir una lista actualizada de las grasas recomendadas por FAG, tanto para la sección húmeda como para la sección de secado.

Recomendaciones generales para la lubricación con grasa de los rodamientos en las máquinas de papel (sección húmeda y sección de secado)

- Grasas según las especificaciones de FAG (página 33)
- Suministro directo de grasa (p. ej. en rodamientos oscilantes de rodillos, a través de ranuras de engrase y agujeros en los anillos exterior o interior)
- Reengrase semanal o mensual en función de la influencia del entorno
- Cantidades para el reengrase según la publicación FAG WL 81 115/4 SB, página 38.

$$m_1 = 0.002 \cdot D \cdot B \text{ [g] para suministro manual de grasa}$$

$$m_2 = 1 \cdot [\pi/4 \cdot B \cdot (D^2 - d^2) \cdot 10^{-9} - G/7800] \text{ [kg/h]}$$

para sistemas de suministro automático de grasa

con

D Diámetro exterior del rodamiento [mm]

B Ancho del rodamiento [mm]

d Agujero del rodamiento [mm]

G Peso del rodamiento [kg]

- Rellenado de grasa en ambos lados
- Abundante reengrase antes y después de un período de reposo prolongado
- Evitar en lo posible las mezclas de diferentes tipos de grasa, incluso si existe compatibilidad entre éstas
- Instalación de conductos de alimentación tan cortos como sea posible
- Protección de los conductos de alimentación contra la radiación de calor

Requisitos para las grasas de los rodamientos de la sección húmeda:

- Muy buena resistencia al agua
- Buen efecto obturador
- Excelentes propiedades anticorrosivas
- Buenas propiedades de formación de película lubricante
- Buena compatibilidad con elastómeros y plásticos
- Compatibilidad multi-metal
- Buena estabilidad frente a la oxidación
- Excelentes propiedades de lubricación, incluso en rodamientos con complejas cinemáticas, mediante espesantes seleccionados y aditivos EP, que son eficaces con los más diversos tipos de rodamientos
- Alto grado de limpieza
- Buena capacidad de transporte en los dispositivos de lubricación centralizada (ninguna separación de aceite o de espesante bajo presión, buen comportamiento en la descompresión y buena característica de bombeo desde los recipientes de almacenaje)

Requisitos para las grasas de los rodamientos de la sección de secado:

- Excelente estabilidad frente a la oxidación
- Muy buena adecuación a las altas temperaturas
- Ninguna generación ni acumulación de residuos en los rodamientos ni en los soportes
- Excelentes propiedades anticorrosivas
- Compatibilidad multi-metal
- Buenas propiedades de formación de película lubricante
- Excelentes propiedades de lubricación, incluso en rodamientos con complejas cinemáticas, mediante eficaces espesantes y aditivos efectivos, para rodamientos a las más diversas temperaturas.
- Buen efecto obturador
- Buena compatibilidad con elastómeros y plásticos
- Alto grado de limpieza
- Buena capacidad de transporte en los dispositivos de lubricación centralizada (ninguna separación de aceite o de espesante bajo presión, buen comportamiento en la descompresión, buena característica de fluencia desde los recipientes de almacenaje y ninguna solidificación en los conductos)
- Buena facilidad de salida de los soportes
- Muy larga duración de vida en servicio

Factores de reducción total q

Situación del rodamiento	Factor de reducción total q
--------------------------	-----------------------------

Sección húmeda

entorno parcialmente con mucha humedad	0,1 - 0,3
--	-----------

Sección de secado

en donde se ha lubricado con grasa (p. ej. cilindro secador de fieltro)	0,3 - 0,4
--	-----------

Suministro de grasa a los rodamientos

La cantidad adecuada de grasa, el período de reengrase basado en la duración de servicio de la grasa, el correcto diseño del acceso al rodamiento, así como el método más apropiado de lubricación, son decisivos para un adecuado suministro de lubricante. Los aspectos fundamentales se indican con detalle en la publicación FAG WL 81 115/4 SB.

El diagrama con los períodos de reengrase t_r es válido para condiciones ambientales favorables y para grasas estándar a base de jabón de litio. El efecto de la temperatura y del entorno es de particular importancia en las máquinas de papel.

El período de relubricación reducido t_{rq} , junto con el factor de reducción total q (ver tabla, abajo izquierda), que tienen en cuenta todas las influencias adversas de las condiciones ambientales y de funcionamiento, se obtiene de

$$t_{rq} = q \cdot t_r$$

El período de relubricación debe ser de 0,5 a $0,7 \cdot t_{rq}$. La experiencia ha demostrado que un período de relubricación de < 2 semanas es suficiente para los rodamientos de la sección húmeda (con extremadamente alta humedad) y de 4 semanas para los rodamientos lubricados con grasa de la sección de secado.

En el caso de los rodamientos oscilantes de rodillos, la grasa nueva debe ser suministrada siempre a través de la ranura y de los agujeros de lubricación del anillo exterior, para expulsar la grasa usada y asegurar que se efectúe un óptimo intercambio de grasa. Esto es particularmente importante para los rodamientos, en peligro de corrosión, de la sección húmeda. Durante el funcionamiento, no es posible reengrasar los rodamientos con anillo exterior giratorio.

Por lo tanto, aquí deben utilizarse rodamientos con agujeros de lubricación en el anillo interior, con objeto de suministrar la grasa directamente en el centro del rodamiento. Les ejecuciones de rodamientos con ranuras y agujeros de lubricación son usuales; con este diseño no es necesaria ninguna ranura circunferencial de lubricación en las manguetas.

Dimensionado y lubricación de los rodamientos

Lubricación

La influencia de estas medidas es, frecuentemente, subestimada. Tal como la experiencia práctica ha demostrado, la mayoría de las averías en los rodamientos lubricados con grasa de la sección húmeda se producen a causa de un suministro deficiente de lubricante, a la dilución del lubricante en agua (efecto lubricante reducido) o a la corrosión de las superficies funcionales.

A causa de que la corrosión puede presentarse también durante las paradas de los rodamientos (debido a la penetración de agua durante la limpieza de la máquina, o a la aparición de agua de condensación), es preferible reengrasar los rodamientos antes de parar la máquina o cuando los cilindros se ponen en reserva.

Debe evitarse en lo posible la mezcla de diferentes grasas. En ningún caso deben mezclarse grasas con diferentes jabones espesantes. Cuando se efectúa la limpieza a fondo de la máquina con chorro de agua, es necesario aplicar un tipo de grasa diferente.

Cuando un nuevo rodamiento ha sido montado, la relubricación debe llevarse a cabo relativamente pronto, con objeto de eliminar la contaminación de montaje y el desgaste de rodaje.

5.2.2 Lubricación con aceite

La lubricación con aceite es necesaria cuando se espera que los rodamientos se calienten de forma considerable, debido a las cargas, a la velocidad y/o a las influencias del entorno.

La lubricación por circulación de aceite, usada preferiblemente en máquinas nuevas de papel, tiene las siguientes ventajas:

Los contaminantes no se agrupan si el drenaje del suministro de aceite ha sido correctamente diseñado; dichos contaminantes son transportados por el flujo de aceite a los correspondientes equipos (filtros, separadores, cámaras de sedimentos, etc.) y eliminados de la circulación. La

tensión en el aceite se reduce con un gran volumen total de aceite. Adicionalmente, la disipación de calor mediante la refrigeración del aceite en el retorno, origina una disminución de la temperatura en el rodamiento.

Debe comprobarse la compatibilidad de los aceites minerales altamente aditivados, así como de los aceites sintéticos, con los materiales de las obturaciones y de las jaulas.

Recomendaciones generales para la lubricación de los rodamientos de las máquinas de papel mediante circulación de aceite:

- Aceites según las directrices de FAG
 - Suministro directo de aceite a través de la ranura y de los agujeros de lubricación en los anillos de los rodamientos oscilantes de rodillos y de los rodamientos de rodillos cilíndricos autoalineables.
 - Salida del aceite por ambos lados, con agujeros de salida dimensionados con suficiente sección.
 - Evitar el aceite residual en el cárter
 - Cantidades mínimas de caudal de aceite según las recomendaciones de FAG
 - Monitorización de la lubricación para cada punto de aplicación de rodamientos
 - Protección de los conductos de aceite del calor
 - Temperatura de alimentación máx. 50 a 60° C mediante el enfriamiento del aceite en el retorno, para la sección de secado
 - Sistemas separados de alimentación de aceite para las diferentes secciones de las máquinas de papel
 - En el caso de los cilindros secadores y de las calandras suaves, aislamiento efectivo de las manguetas
- Nota: Con el aislamiento de las manguetas huecas y con el adecuado caudal de aceite, así como con su enfriamiento en el retorno, puede alcanzarse una baja temperatura en los rodamientos y, por tanto, una viscosidad de funcionamiento suficiente para el aceite lubricante. Para las manguetas no aisladas y con bajas velocidades, puede esperarse una relación de viscosidades $\kappa < 0,4$ y, por tanto, un factor de duración de vida a_{23} de, máx. 0,35.
- Diseñar zonas con posibilidades de circulación de aire en el depósito
 - Medidas para el mantenimiento del aceite:
 - Limpieza y filtración fina antes de la puesta en marcha, después de grandes reparaciones, averías de los rodamientos o sustitución total del aceite
 - Filtración en el flujo principal con 12 μm , mejor con 6 μm y con una relación de filtración de $\beta_x \geq 75$. Adicionalmente, un filtrado secundario con 6 μm y $\beta_x \geq 75$ incrementa considerablemente la efectividad para elevados caudales de aceite.
 - Clase de limpieza de aceite 15/12 según ISO 4406
 - Contenido de agua $< 0,03$ % del peso (300 ppm)
 - Puntual cambio de aceite, en función de su estado (proveedor del aceite)

Selección del aceite

Los aceites minerales y los aceites sintéticos son adecuados para la lubricación de rodamientos. La selección del aceite apropiado depende de las condiciones de funcionamiento del punto de aplicación del rodamiento.

FAG especifica los requisitos para el aceite lubricante para las máquinas de papel en dos listas separadas: una para la sección húmeda y otra para la sección de secado.

Requisitos para la circulación de aceite para los rodamientos de la **sección húmeda**:

- Elevada estabilidad frente a la oxidación
- Buena capacidad para no emulsionar
- Buenas propiedades anticorrosivas
- Compatibilidad multi-metal
- Estabilidad frente a la hidrólisis
- Elevado índice de viscosidad
- Elevado coeficiente presión-viscosidad
- En rodamientos, efectiva capa límite formada por los aditivos
- Buena compatibilidad con elastómeros y plásticos
- Excelentes propiedades de limpieza
- Buenas características de filtraje
- Buena compatibilidad con medios conservantes
- Particularmente buena idoneidad a largo plazo

Requisitos para la circulación de aceite para los rodamientos de la **sección de secado**:

- Excelente estabilidad frente a la oxidación
- Buena capacidad para no emulsionar
- Buenas propiedades anticorrosivas
- Compatibilidad multi-metal
- Estabilidad frente a la hidrólisis
- Elevado índice de viscosidad
- Elevado coeficiente presión-viscosidad
- En rodamientos, efectiva capa límite formada por los aditivos
- Buena compatibilidad con

- elastómeros y plásticos
- Excelentes propiedades de limpieza
- Buenas características de filtraje
- Buenas propiedades anti-espuma
- No acumulación de residuos ni facilidad para enturbiarse
- Particularmente, idoneidad a largo plazo

Sobre consulta, Vd. puede recibir una lista actualizada de los aceites recomendados por FAG, tanto para la sección húmeda como para la sección de secado.

Suministro de aceite a los rodamientos

El volumen de aceite a suministrar en cada caso depende, esencialmente, de las condiciones en cuanto a disipación o aportación de calor.

Con un elevado índice de velocidad ($n \cdot d_m > 300.000 \text{ min}^{-1} \cdot \text{mm}$, p. ej. para rodillos aspiradores), el cálculo del balance térmico se recomienda efectuarlo según la publicación FAG WL 81 115/4 SB.

Para lubricar los rodamientos es necesaria una cantidad muy pequeña de aceite. Pero, por razones de seguridad, se selecciona un gran volumen de aceite con objeto de garantizar que todas las áreas en contacto dispongan de suficiente lubricante. Dicho volumen se incrementa aun más si se requiere una buena disipación del calor.

La ventaja de la lubricación directa a través de la ranura y los agujeros de lubricación en los anillos del rodamiento es que también es posible para rodamientos lubricados con aceite.

Los rodamientos deben ser lubricados antes de la puesta en funcionamiento. Con lubricación por circulación de aceite, esto se consigue arrancando la bomba de aceite antes de que la máquina de papel sea puesta en marcha.

Las recomendaciones de FAG para las cantidades de aceite convenientes para cada punto de aplicación de los rodamientos se indican en las páginas 36 y 37.

Caída de presión en la circulación de aceite

Como ya se ha descrito, el aceite debe llegar a los rodamientos tan directamente como sea posible. El aceite frío, sin calentamiento previo, es conducido hasta las áreas de contacto que están calientes y arrastra el calor de las mismas. El aceite tiene una elevada viscosidad debido a su baja temperatura y para lograr una película lubricante con buena capacidad de carga.

Debido a la ranura de los rodamientos FAG oscilantes de rodillos y de los rodamientos de rodillos cilíndricos de doble hilera, se produce una caída de presión del aceite cuando el volumen del mismo es elevado. Con un gran número de rodamientos, como en el caso de las máquinas de papel, esto debe ser tenido en cuenta al diseñar el equipo de circulación de aceite, mediante una bomba de mayor capacidad. Las dimensiones de las ranuras de lubricación son decisivas para valorar la caída de presión. Los agujeros de lubricación tienen un efecto insignificante. Como aproximación, la caída de presión se puede obtener mediante la fórmula

$$\Delta p = 44 \cdot 10^{-5} \frac{H^2 \cdot D}{[(H-t) \cdot t]^3} \cdot Q \cdot v \text{ [bar]}$$

en donde

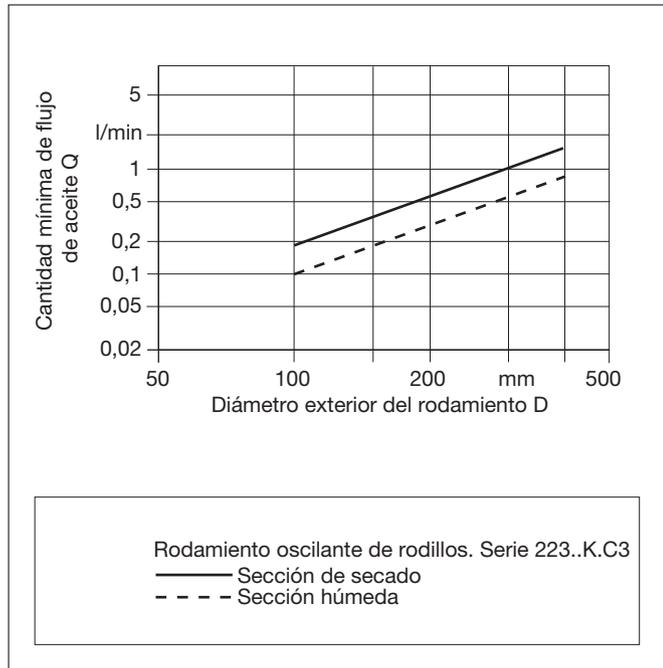
Q	Caudal de aceite	[l/min]
v	Viscosidad del aceite	[mm ² /s]
H	Anchura de la ranura	[mm]
t	Profundidad de la ranura	[mm]
D	Diámetro exterior del rodamiento	[mm]

Es recomendable prever una ranura circunferencial en el alojamiento, con objeto de reducir la pérdida de presión, con grandes caudales de aceite. Esto también es aconsejable, para asegurar la alimentación de aceite, en rodamientos libres con grandes recorridos de desplazamiento axial.

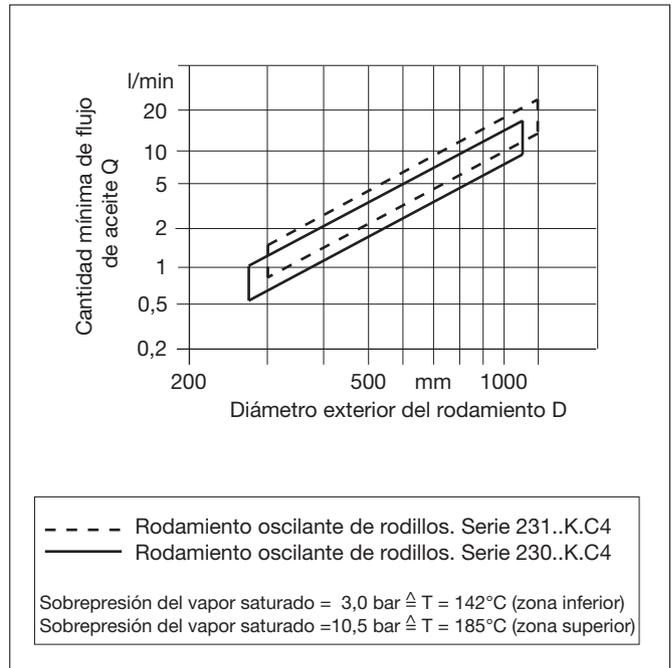
Dimensionado y lubricación de los rodamientos

Lubricación

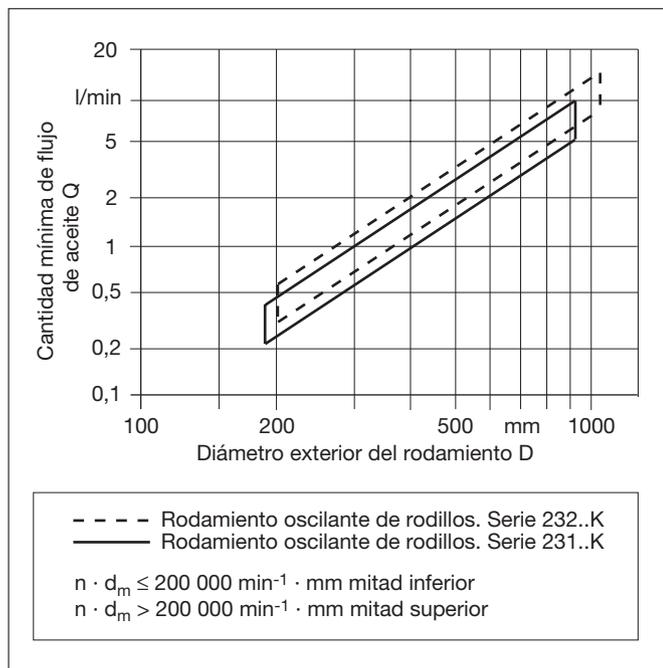
Cantidades mínimas de aceite para lubricación por circulación del mismo para rodamientos en rodillos guía



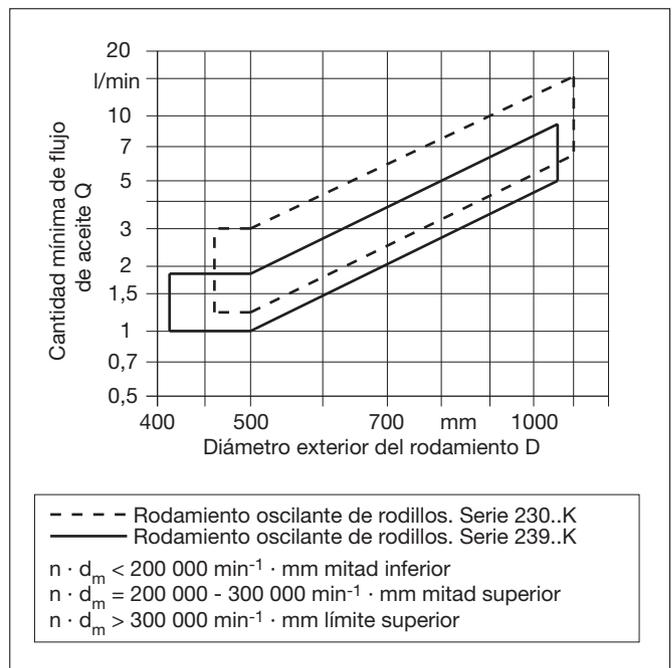
para rodamientos en la sección de secado / cilindros M.G.



para rodamientos en las prensas húmedas

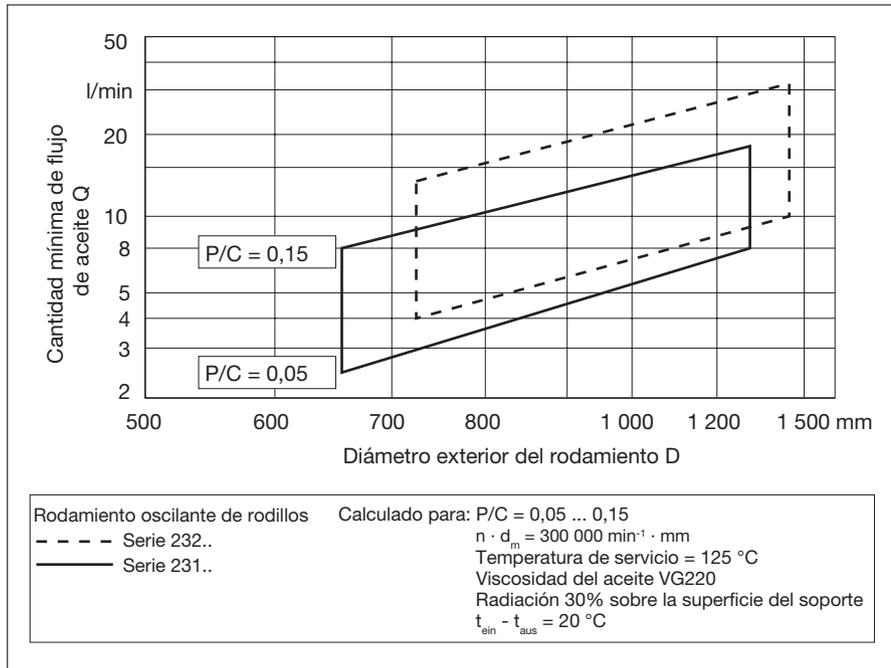


para rodamientos en los cilindros aspiradores



Cantidades mínimas de aceite para lubricación por circulación del mismo

para rodamientos en la calandra suave



Vaciado de aceite

El diseño del sistema de vaciado y drenaje del aceite es de particular importancia en el caso de caudales de aceite relativamente grandes y de reducidas temperaturas en los rodamientos, como consecuencia del enfriamiento y del aislamiento.

Si el sistema de drenaje no ha sido correctamente diseñado, y con elevadas viscosidades del aceite, pueden producirse fugas del mismo en los soportes, especialmente cuando la máquina de papel arranca estando fría. Además de agujeros de vaciado suficientemente grandes en ambos lados del rodamiento, y con agujeros de nivel correctamente dimensionados, deben preverse los conductos de drenaje con la mayor pendiente posible.

Es también importante que los empalmes de los conductos de drenaje tengan el correspondiente gran diámetro, con el que se puedan evitar las retenciones en la salida del aceite. Para un correcto dimensionado en la zona de la pendiente de los conductos de drenaje, de 1 al 5 %, se utiliza la fórmula

$$d_a = 11,7 \cdot \sqrt{Q \cdot \nu / G} \text{ [mm]}$$

en donde

- d_a Diámetro de los conductos de drenaje [mm]
- Q Caudal de aceite [l/min]
- ν Viscosidad del aceite [mm²/s]
- G Pendiente [%]

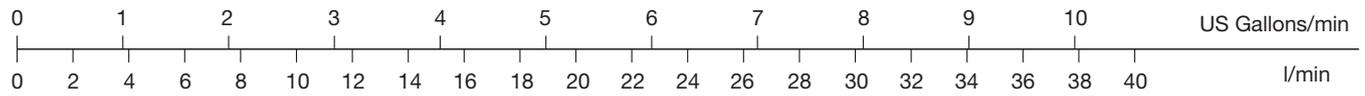
Tablas

Conversión

6 Tablas

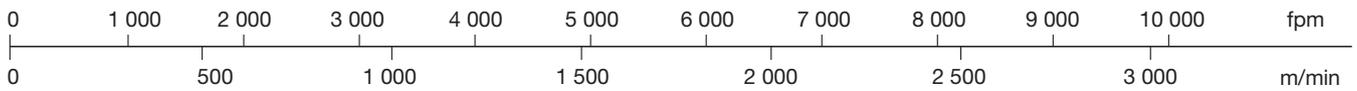
6.1 Conversión

6.1.1 Caudal



$$1 \text{ US Gallon} = 3,7854 \text{ l}$$

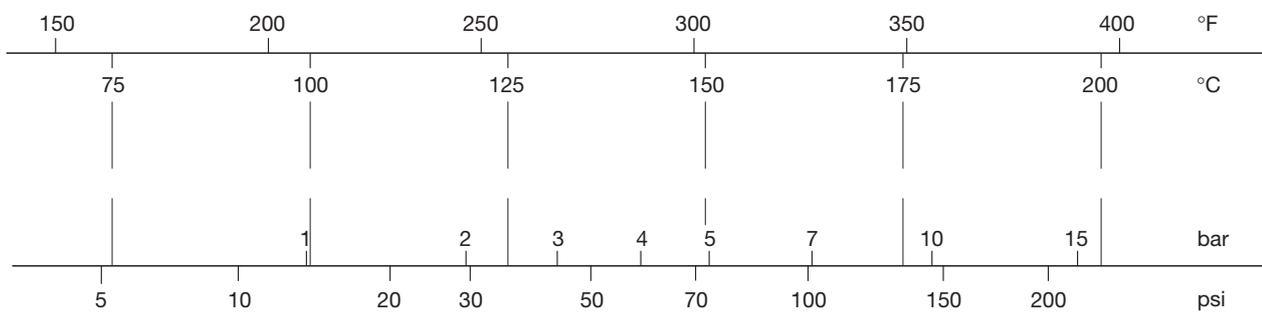
6.1.2 Velocidad



$$1 \text{ fpm} = 0,3048 \text{ m/min}$$

6.1.3 Temperatura

$$x \text{ } ^\circ\text{C} = (x \cdot \frac{9}{5} + 32) \text{ } ^\circ\text{F}$$



6.1.4 Presión de vapor saturado

$$1 \text{ psi} = 0,0689 \text{ bar}$$

6.2 Juego radial

6.2.1 Juego radial de los rodamientos FAG de rodillos cilíndricos

Medidas en mm

Medida nominal del agujero del rodamiento	más de hasta	50 65	65 80	80 100	100 120	120 140	140 160	160 180	180 200	200 225	225 250	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450	450 500	500 560	560 630	630 710
---	--------------	----------	----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

con agujero cilíndrico

Juego radial en μm

Grupo de juego radial CN (normal)	min. máx.	40 70	40 75	50 85	50 90	60 105	70 120	75 125	90 145	105 165	110 175	125 195	130 205	145 225	190 280	210 310	220 330	240 360	260 380	285 425
Grupo de juego radial C3	min. máx.	60 90	65 100	75 110	85 125	100 145	115 165	120 170	140 195	160 220	170 235	190 260	200 275	225 305	280 370	310 410	330 440	360 480	380 500	425 565
Grupo de juego radial C4	min. máx.	80 110	90 125	105 140	125 165	145 190	165 215	170 220	195 250	220 280	235 300	260 330	275 350	305 385	370 460	410 510	440 550	480 600	500 620	565 705
Grupo de juego radial C5	min. máx.	110 140	130 165	155 190	180 220	200 245	225 275	250 300	275 330	305 365	330 395	370 440	410 485	455 535	510 600	565 665	625 735	600 720	620 740	705 845

con agujero cónico

Juego radial en μm

Grupo de juego radial CN (normal)	min. máx.	50 80	60 95	70 105	90 130	100 145	110 160	125 175	140 195	155 215	170 235	185 255	205 280	225 305	255 345	285 385	315 425	350 470	380 500	435 575
Grupo de juego radial C3	min. máx.	70 100	85 120	95 130	115 155	130 175	145 195	160 210	180 235	200 260	220 285	240 310	265 340	290 370	330 420	370 470	410 520	455 575	500 620	565 705
Grupo de juego radial C4	min. máx.	90 120	110 145	120 155	140 180	160 205	180 230	195 245	220 275	245 305	270 335	295 365	325 400	355 435	405 495	455 555	505 615	560 680	620 740	695 835
Grupo de juego radial C5	min. máx.	120 150	145 180	155 190	180 220	205 250	230 280	245 295	275 330	305 365	335 400	365 435	400 475	435 515	495 585	555 655	615 725	680 800	740 860	835 975

6.2.2 Reducción de juego radial para rodamientos FAG de rodillos cilíndricos con agujero cónico

Medida nominal del agujero del rodamiento d más de hasta mm	Reducción del juego radial ¹⁾		Desplazamiento axial ¹⁾ sobre el cono 1:12 ²⁾				Valor de control del menor juego radial después del montaje			
	min. mm	máx. mm	Eje min. mm	Manguito máx. mm	Eje máx. mm	Manguito min. mm	CN min. mm	C3 min.	C4 min.	C5 min.
50 65	0,03	0,035	0,45	0,55	0,5	0,65	0,02	0,035	0,05	0,085
65 80	0,035	0,04	0,55	0,6	0,65	0,7	0,025	0,04	0,07	0,105
80 100	0,04	0,045	0,6	0,7	0,65	0,8	0,03	0,05	0,075	0,11
100 120	0,045	0,055	0,7	0,85	0,8	0,95	0,045	0,065	0,085	0,125
120 140	0,055	0,065	0,85	1	0,95	1,1	0,045	0,07	0,095	0,14
140 160	0,06	0,075	0,9	1,2	1	1,3	0,05	0,075	0,105	0,155
160 180	0,065	0,085	1	1,3	1,1	1,5	0,06	0,08	0,11	0,16
180 200	0,075	0,095	1,2	1,5	1,3	1,7	0,065	0,09	0,125	0,18
200 225	0,085	0,105	1,3	1,6	1,4	1,8	0,07	0,1	0,14	0,2
225 250	0,095	0,115	1,5	1,8	1,6	2	0,075	0,105	0,155	0,22
250 280	0,105	0,125	1,6	2	1,7	2,3	0,08	0,125	0,17	0,24
280 315	0,115	0,14	1,8	2,2	1,9	2,4	0,09	0,13	0,185	0,26
315 355	0,13	0,16	2	2,5	2,2	2,7	0,095	0,14	0,195	0,275
355 400	0,14	0,17	2,2	2,6	2,5	2,9	0,115	0,165	0,235	0,325
400 450	0,15	0,185	2,3	2,8	2,6	3,1	0,135	0,19	0,27	0,37
450 500	0,16	0,195	2,5	3	2,8	3,4	0,155	0,215	0,31	0,42
500 560	0,17	0,215	2,7	3,4	3,1	3,8	0,18	0,24	0,345	0,465
560 630	0,185	0,24	2,9	3,7	3,5	4,2	0,195	0,26	0,38	0,5
630 710	0,2	0,26	3,1	4,1	3,6	4,7	0,235	0,305	0,435	0,575

¹⁾ Comprobar la desviación de los valores cuando se utiliza la galga de medición del desplazamiento HYD.NUT.DISPLACE.GAUGE

¹⁾ Es válido: los rodamientos, cuyo juego radial, antes del montaje, se encuentra dentro de la mitad superior del campo de tolerancia, se montan con el valor mayor de reducción de juego radial, o bien de desplazamiento axial y los rodamientos cuyo juego radial antes del montaje esté dentro de la mitad inferior del campo de tolerancia, se montarán con el valor menor de reducción de juego radial o de desplazamiento axial.

²⁾ Es válido únicamente para ejes macizos de acero, y para ejes huecos cuyo agujero no supere la mitad del diámetro del eje. Los valores de desplazamiento axial deben multiplicarse por $1/f_1$ para ejes huecos de acero con $d/d_m > 0,5$ (ver diagrama 3, página 25) y, en caso de ejes de fundición gris o fundición esferoidal o nodular, adicionalmente multiplicar por el factor w (ver diagrama 4, página 25)

Tablas

Juego radial

6.2.3 Juego radial de los rodamientos FAG oscilantes de rodillos

Medida nominal del agujero del rodamiento	Medidas en mm																					
	más de hasta	50 65	65 80	80 100	100 120	120 140	140 160	160 180	180 200	200 225	225 250	250 280	280 315	315 355	355 400	400 450	450 500	500 560	560 630	630 710	710 800	800 900

con agujero cilíndrico

Grupo de juego radial	Juego radial en μm																							
	mín. máx.	40 65	50 80	60 100	75 120	95 145	110 170	120 180	130 200	140 220	150 240	170 260	190 280	200 310	220 340	240 370	260 410	280 440	310 480	350 530	390 580	430 650	480 710	
Grupo de juego radial CN (normal)	mín. máx.	65 90	80 110	100 135	120 160	145 190	170 220	180 240	200 260	220 290	240 320	260 350	280 370	310 410	340 450	370 500	410 550	440 600	480 650	530 700	580 770	650 860	710 930	
Grupo de juego radial C3	mín. máx.	90 120	110 145	135 180	160 210	190 240	220 280	240 310	260 340	290 380	320 420	350 460	370 500	410 550	450 600	500 660	550 720	600 780	650 850	700 920	770 1010	860 1120	930 1220	
Grupo de juego radial C4	mín. máx.	120 150	145 180	180 225	210 260	240 300	280 350	310 390	340 430	380 470	420 520	460 570	500 630	550 690	600 750	660 820	720 900	780 1000	850 1100	925 1190	1010 1300	1120 1440	1220 1570	

con agujero cónico

Grupo de juego radial	Juego radial en μm																							
	mín. máx.	55 75	70 95	80 110	100 135	120 160	130 180	140 200	160 220	180 250	200 270	220 300	240 330	270 360	300 400	330 440	370 490	410 540	460 600	510 670	570 750	640 840	710 930	
Grupo de juego radial CN (normal)	mín. máx.	75 95	95 120	110 140	135 170	160 200	180 230	200 260	220 290	250 320	270 350	300 390	330 430	360 470	400 520	440 570	490 630	540 680	600 760	670 850	750 960	840 1070	930 1190	
Grupo de juego radial C3	mín. máx.	95 120	120 150	140 180	170 220	200 260	230 300	260 340	290 370	320 410	350 450	390 490	430 540	470 590	520 650	570 720	630 790	680 870	760 980	850 1090	960 1220	1070 1370	1190 1520	
Grupo de juego radial C4	mín. máx.	120 160	150 200	180 230	220 280	260 330	300 380	340 430	370 470	410 520	450 570	490 620	540 740	590 740	650 820	720 910	790 1000	870 1100	980 1230	1090 1360	1220 1500	1370 1690	1520 1860	

6.2.4 Reducción de juego radial para rodamientos FAG oscilantes de rodillos con agujero cónico

Medida nominal del agujero del rodamiento d más de hasta mm	Reducción del juego radial ¹⁾		Desplazamiento axial ¹⁾ sobre el cono 1:12 ²⁾				Desplazamiento axial ¹⁾ sobre el cono 1:30 ²⁾				Valor de control del menor juego radial después del montaje			
	mín. mm	máx. mm	Eje		Manguito		Eje		Manguito		CN mín. mm	C3 mín. mm	C4 mín. mm	C5 mín. mm
			mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm	mín. mm	máx. mm				
50 65	0,03	0,04	0,45	0,6	0,5	0,7	-	-	-	-	0,025	0,035	0,055	0,08
65 80	0,04	0,05	0,6	0,75	0,7	0,85	-	-	-	-	0,025	0,04	0,07	0,1
80 100	0,045	0,06	0,7	0,9	0,75	1	1,7	2,2	1,8	2,4	0,035	0,05	0,08	0,12
100 120	0,05	0,07	0,7	1,1	0,8	1,2	1,9	2,7	2	2,8	0,05	0,065	0,1	0,15
120 140	0,065	0,09	1,1	1,4	1,2	1,5	2,7	3,5	2,8	3,6	0,055	0,08	0,11	0,17
140 160	0,075	0,1	1,2	1,6	1,3	1,7	3	4	3,1	4,2	0,055	0,09	0,13	0,2
160 180	0,08	0,11	1,3	1,7	1,4	1,9	3,2	4,2	3,3	4,6	0,06	0,1	0,15	0,23
180 200	0,09	0,13	1,4	2	1,5	2,2	3,5	4,5	3,6	5	0,07	0,1	0,16	0,24
200 225	0,1	0,14	1,6	2,2	1,7	2,4	4	5,5	4,2	5,7	0,08	0,12	0,18	0,27
225 250	0,11	0,15	1,7	2,4	1,8	2,6	4,2	6	4,6	6,2	0,09	0,13	0,2	0,3
250 280	0,12	0,17	1,9	2,6	2	2,9	4,7	6,7	4,8	6,9	0,1	0,14	0,22	0,32
280 315	0,13	0,19	2	3	2,2	3,2	5	7,5	5,2	7,7	0,11	0,15	0,24	0,35
315 355	0,15	0,21	2,4	3,4	2,6	3,6	6	8,2	6,2	8,4	0,12	0,17	0,26	0,38
355 400	0,17	0,23	2,6	3,6	2,9	3,9	6,5	9	6,8	9,2	0,13	0,19	0,29	0,42
400 450	0,2	0,26	3,1	4,1	3,4	4,4	7,7	10	8	10,4	0,13	0,2	0,31	0,46
450 500	0,21	0,28	3,3	4,4	3,6	4,8	8,2	11	8,4	11,2	0,16	0,23	0,35	0,51
500 560	0,24	0,32	3,7	5	4,1	5,4	9,2	12,5	9,6	12,8	0,17	0,25	0,36	0,55
560 630	0,26	0,35	4	5,4	4,4	5,9	10	13,5	10,4	14	0,2	0,29	0,41	0,63
630 710	0,3	0,4	4,6	6,2	5,1	6,8	11,5	15,5	12	16	0,21	0,31	0,45	0,69
710 800	0,34	0,45	5,3	7	5,8	7,6	13,3	17,5	13,6	18	0,23	0,35	0,51	0,77
800 900	0,37	0,5	5,7	7,8	6,3	8,5	14,3	19,5	14,8	20	0,27	0,39	0,57	0,87
900 1000	0,41	0,55	6,3	8,5	7	9,4	15,8	21	16,4	22	0,3	0,43	0,64	0,97

¹⁾ Comprobar la desviación de los valores cuando se utiliza la galga de medición del desplazamiento HYD.NUT.DISPLACE.GAUGE

²⁾ Es válido: los rodamientos, cuyo juego radial, antes del montaje, se encuentra dentro de la mitad superior del campo de tolerancia, se montan con el valor mayor de reducción de juego radial, o bien de desplazamiento axial y los rodamientos cuyo juego radial antes del montaje esté dentro de la mitad inferior del campo de tolerancia, se montarán con el valor menor de reducción de juego radial o de desplazamiento axial.

³⁾ Es válido únicamente para ejes macizos de acero, y para ejes huecos cuyo agujero no supere la mitad del diámetro del eje. Los valores de desplazamiento axial deben multiplicarse por $1/f_1$ para ejes huecos de acero con $d_1/d_m > 0,5$ (ver diagrama 3, página 25) y, en caso de ejes de fundición gris o fundición esferoidal o nodular, adicionalmente multiplicar por el factor w (ver diagrama 4, página 25)

Schaeffler Iberia, s.l.

Polígono Ind. Pont Reixat
08960 Sant Just Desvern
Barcelona

Teléfono +34 934 803 410

Fax +34 933 729 250

Internet www.schaeffler.es

E-Mail marketing.es@schaeffler.com

Todos los datos se han confeccionado y analizado cuidadosamente. Sin embargo, no nos hacemos responsables de posibles datos erróneos o incompletos.

Nos reservamos el derecho a efectuar modificaciones técnicas.

© Schaeffler KG · 2008, Febrero

La reproducción, total o parcial, está prohibida sin la autorización del propietario.

WL 13 103/2 SB