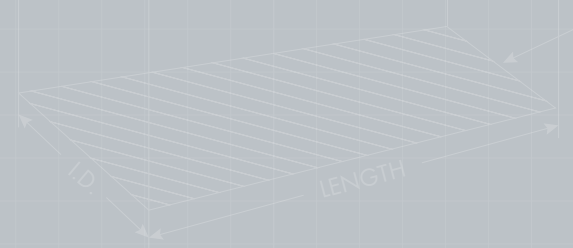
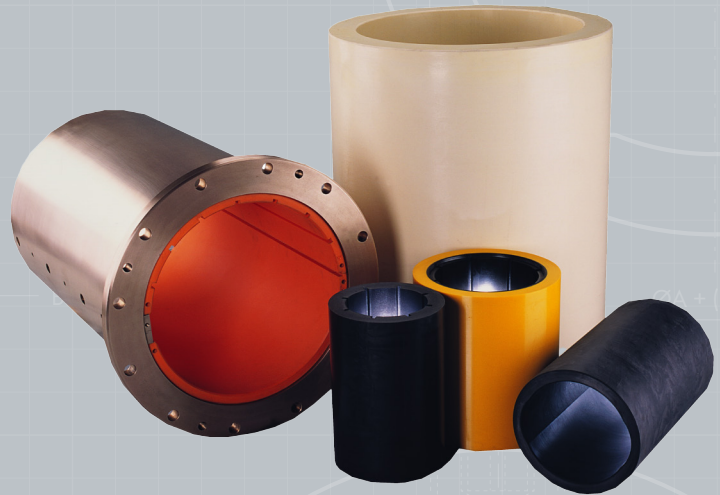


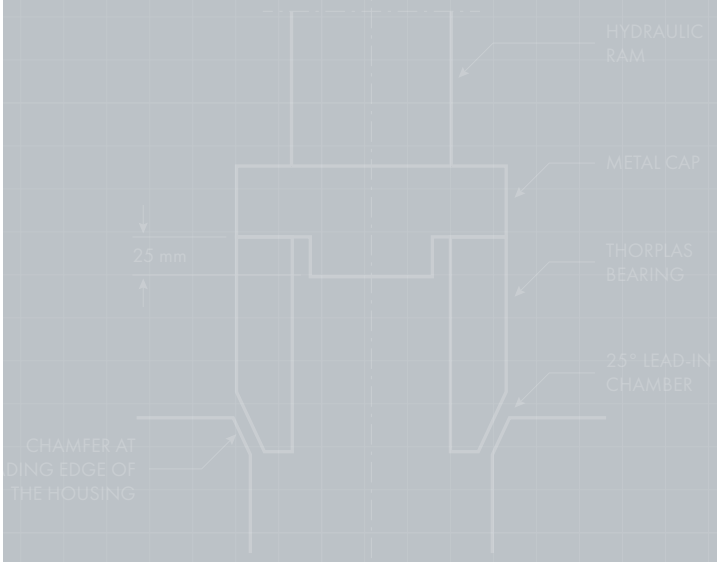
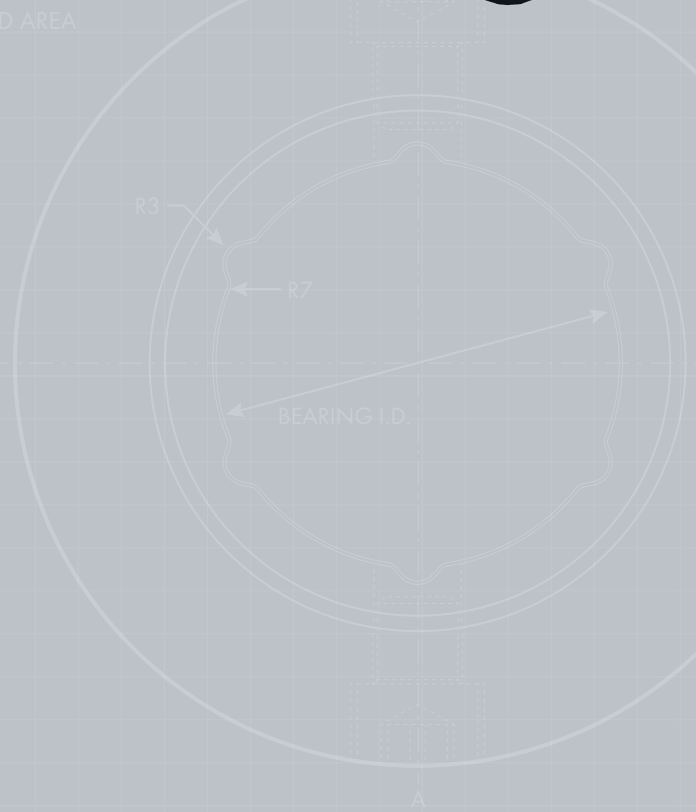
Cojinetes Elastoméricos Thordon

MANUAL TÉCNICO

Versión: 2022.1



PROJECTED AREA

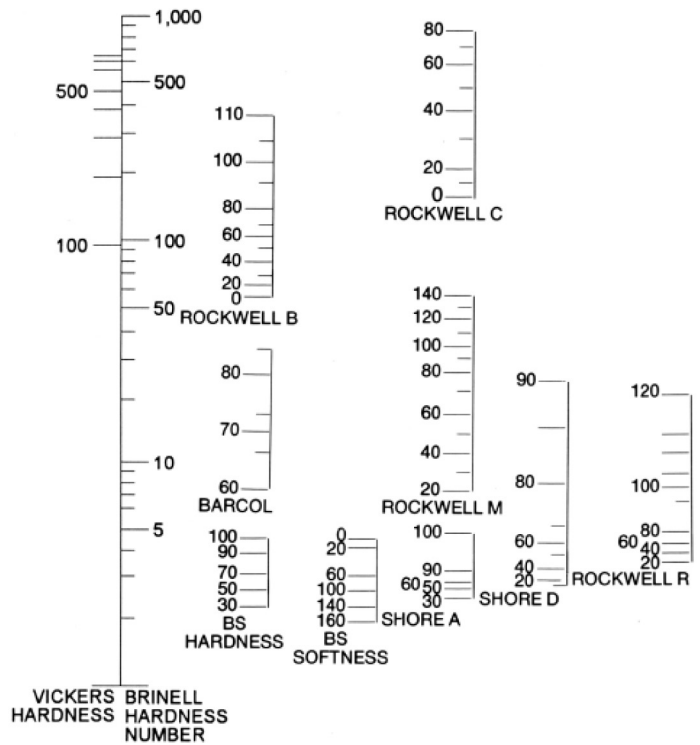


THOR DON

SYMBOLS AND UNITS

	Métrica	Imperial
C_t = Tolerancia a la dilatación térmica	mm	inches
C_s = Tolerancia a la absorción	mm	inches
d = Diámetro del eje	mm	inches
E_o = Módulo de elasticidad	MPa	psi
I.D. = Diámetro interior del cojinete	mm	inches
O.D. = Diámetro exterior del cojinete	mm	inches
L = Longitud del cojinete	mm	inches
N = Velocidad del eje	R.P.M.	R.P.M.
P = Presión	MPa	psi
T_a = Temperatura ambiente del taller en que se ubica la máquina	°C	°F
T_o = (Valor nominal: 21 °C (70 °F))	°C	°F
W.T. = Temperatura de funcionamiento	mm	inches
α = Espesor de pared del cojinete	°C ⁻¹	°F ⁻¹
μ = Coeficiente de la dilatación térmica	-	-
V = Coeficiente de fricción	m/sec.	ft./min.
γ = Velocidad		
Coeficiente de Poisson		

APPROXIMATE COMPARISON OF VARIOUS HARDNESS SCALES



TEMPERATURAS DEL REFRIGERANTE PARA AJUSTE POR CONGELACIÓN

Hielo seco: -78°C (-109°F)

Nitrógeno líquido: -196°C (-320°F)

Nota: Todas las distancias u holguras mencionadas en este manual son distancias diametrales.

TABLA DE CONVERSIÓN DE UNIDADES

- Longitud
 - 1 metro (m) = 39.37 Inches (in.)
 - 1 milímetro (mm) = 0.03937 Inches (in.)
- Mass
 - 1 kilogramo (kg) = 2.205 lbs.
- Force
 - 1 newton (N) = 0.2248 lbs.
- Pressure
 - * 1 kg/cm² = 14.223 psi (lbs./in.²)
 - ** 1 megapascal (MPa) = 145 psi (lbs./in.²)
 - 1 N/mm² = 145 psi (lbs./in.²) = 1 MPa
 - 1 MPa = 10.197 kgf/cm²
 - 1 Bar = 1.0197 kgf/cm²
 - 1 megapascal (MPa) = 10 Bar
 - * Kilo = 1,000
 - ** Mega = 1,000,000

INFORMACIÓN TÉCNICA ADICIONAL DE THORDON DISPONIBLE

- a. Manual de instalación de cojinetes marinos Thordon
- b. Manual técnico de cojinetes ThorPlas®

Si necesita uno de estos manuales, póngase en contacto con el distribuidor de Thordon de su zona o con Thordon Bearings Inc.

ÍNDICE

1. DEFINICIÓN DE THORDON

2. TRIBOLOGÍA

- a. Fricción
- b. Lubricación
- c. Desgaste

3. PROPIEDADES FÍSICAS

- a. Efectos térmicos
- b. Efecto del agua o el aceite
- c. Factor de forma
- d. Esfuerzo y deformación
- e. Rigidez
- f. Deformación permanente, deslizamiento y relajación del esfuerzo
- g. Cizalladura
- h. Impacto/Resiliencia
- i. Histéresis
- j. Resistencia química
- k. Propiedades físicas típicas

4. GUÍA DE DISEÑO

- a. Análisis de las aplicaciones
- b. Presión del cojinete
- c. Velocidad
- d. Gráficos de PVT
- e. Relación longitud/diámetro (L/D)
- f. Espesor de la pared
- g. Ranuras de lubricación
- h. Superficie de acoplamiento
- i. Ajuste
- j. Reducción de la distancia inicial de instalación
- k. Proceso de selección del material
- l. Problemas y causas del fallo del cojinete

5. DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

- a. Diseño según la aplicación
- b. Interferencia
- c. Adhesión
- d. Cierre del calibre
- e. Distancia de funcionamiento
- f. Tolerancia a la dilatación térmica
- g. Tolerancia a la absorción
- h. Distancia de instalación mínima
- i. Uso del programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon
- j. Cálculos de cojinetes tubulares con llave
- k. Cojinetes de alta presión
- l. Cojinetes para bomba vertical: Arranque en seco

6. MECANIZADO Y MEDICIÓN

- a. Mecanizado general
- b. Mecanizado de XL, SXL o COMPAC
- c. Mecanizado de RiverTough/Composite
- d. Fraccionamiento de cojinetes Thordon
- e. Mediciones dimensionales y del acabado superficial

7. ADHESIÓN con TG-75

- a. Preparación de la superficie
- b. Mezcla de componentes adhesivos
- c. Endurecimiento del adhesivo
- d. Aplicación del adhesivo
- e. Solución de problemas
- f. Limpieza
- g. Almacenamiento

1) DEFINICIÓN DE THORDON

El material del cojinete elastomérico Thordon está hecho de resinas termoestables que son polímeros de condensación con estructuras entrelazadas tridimensionalmente. Los materiales de los cojinetes elastoméricos Thordon son polímeros sintéticos muy duros y resistentes cuyas características de rendimiento son superiores a las de los materiales de la mayoría de cojinetes, tanto metálicos como no metálicos. Los materiales de los cojinetes elastoméricos Thordon ofrecen un rendimiento especialmente bueno en comparación con otros materiales en aplicaciones en las que el material está expuesto al agua o sumergido en esta, en condiciones ambientales extremadamente sucias, y donde la carga de choque es un factor importante. Hay dos razones básicas que explican este rendimiento superior: En primer lugar, los materiales de los cojinetes elastoméricos Thordon recuperan su forma original después de haber sido comprimidos o deformados en condiciones normales de funcionamiento. En segundo lugar, dadas las características básicas del material, los cojinetes elastoméricos Thordon tienen una alta resistencia natural a la abrasión. Estas dos características propician un rendimiento excepcional y una larga vida útil en diversas condiciones ambientales difíciles o de suciedad, tanto en aplicaciones marinas como industriales.

Thordon Bearings fabrica diferentes calidades de cojinete que ofrecen ventajas operativas específicas en función de la aplicación.

Estas son las distintas calidades y colores:

- **XL** (negro)
- **SXL** (blanquecino)
- **SXL TRAXL** (SXL adherido a una estructura envolvente metálica)
- **COMPAC** (naranja)
- **RiverTough/Composite** (estructura envolvente exterior amarilla, estructura interior negra - conocido como GM2401)
- **HPSXL** (gris)
- **HPSXL TRAXL** (HPSXL adherido a una estructura envolvente metálica)
- **ThorPlas-Azul:** información detallada en el Manual técnico de cojinetes ThorPlas
- **ThorPlas-Blanco:** información detallada en el Manual técnico de cojinetes ThorPlas
- **Thorseal:** información detallada en otro documento

Este manual técnico ha sido elaborado basándose en los muchos años de experiencia que la empresa posee en la fabricación e instalación de cojinetes Thordon en todo el mundo.

Esta información forma parte del servicio que prestamos a nuestros clientes. **Está destinada a personas técnicamente cualificadas, para que la utilicen según su criterio y bajo su propia responsabilidad.**

Servicio y asistencia globales

Entre los servicios que presta Thordon Bearings Inc., destacan el asesoramiento durante las fases de planificación y la asistencia y servicio técnicos tras la puesta en marcha. Esto es posible gracias a una amplia red de distribuidores por todo el mundo.

Puede ponerse en contacto con el departamento de servicio y asistencia globales de Thordon Bearings utilizando estas vías:

Tel.: + 1 905 335 1440, Ext. 7

Fax: + 1 905 335 4033

Email: service@thordonbearings.com

Web: www.ThordonBearings.com

La compañía se reserva el derecho de modificar cualquier especificación sin previo aviso. La responsabilidad única y exclusiva de Thordon Bearings Inc. («la Compañía») frente a cualquier cliente o distribuidor de los productos de la Compañía por cualquier reclamación, daño, pérdida u obligación que surja a raíz de, o con relación a, cualquier producto suministrado por la Compañía, y la garantía única y exclusiva de la Compañía se ejecutarán conforme a la garantía limitada de la Compañía y las declaraciones que limitan su responsabilidad y que se exponen en la página 60 de este manual. En ningún caso asumirá la Compañía responsabilidad alguna por daños consecuentes, especiales o indirectos.

2) TRIBOLOGÍA

La tribología es el estudio científico de la fricción, la lubricación y el desgaste. El término proviene de la palabra griega «Tribos», que significa «frotar», «friccionar».

- a. Fricción
- b. Lubricación
- c. Desgaste

a) FRICCIÓN

Suele definirse la fricción como una fuerza que resiste el movimiento de un objeto. Con el cojinete Thordon, la fricción se produce cuando un eje aplica una carga al cojinete. Cuando el eje gira, la fricción entre el eje y el cojinete resiste la rotación y, por ello, se requiere una determinada cantidad de par torsor para que siga girando. Dicho par torsor no tiene utilidad y se convierte en calor. La magnitud de la fuerza de fricción F_f depende de un valor conocido como coeficiente de fricción (μ) y de la carga aplicada «normal» (N). Esta es la relación:

$$F_f = \mu N$$

Por tanto, si aumenta la carga en el eje, aumentará la fuerza de fricción así como el calor generado por la fricción. Si el calor no puede disiparse a un disipador térmico de gran tamaño o mediante un lubricante, subirá la temperatura superficial del cojinete. Debido a que el cojinete Thordon, al igual que muchos otros cojinetes sintéticos, es un mal conductor del calor, la disipación del calor por fricción constituye un factor importante a la hora de diseñar el cojinete.

b) LUBRICACIÓN

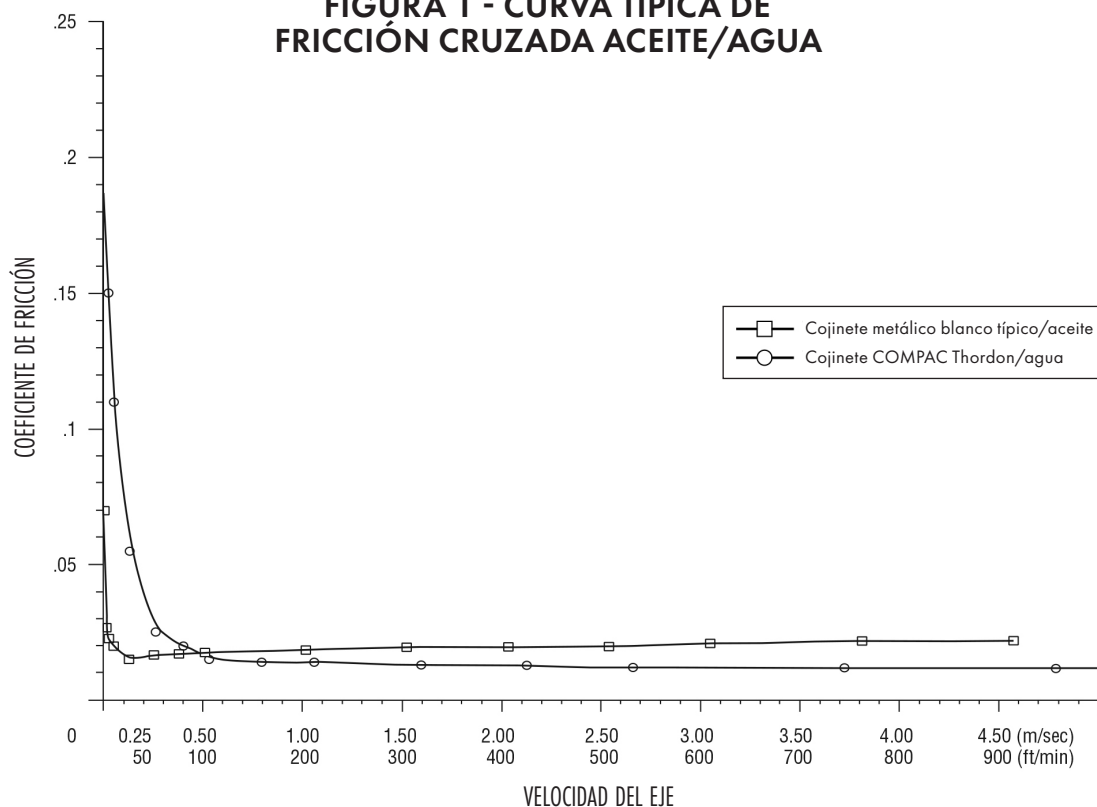
i) Lubricación húmeda

La fricción es casi siempre indeseable (excepto en aplicaciones como frenos, embragues y neumáticos). A menudo, conlleva problemas de sobrecalentamiento, gran desgaste y costes de funcionamiento altos. Para reducir la fricción, se recurre a la lubricación.

La lubricación es el acto de aplicar una sustancia, normalmente un líquido, entre dos superficies en movimiento con el objetivo principal de reducir la fricción y/o el desgaste y con un segundo objetivo, el de disipar el calor. Cuando un cojinete está lubricado «en húmedo», la fricción comienza a depender en gran medida de la velocidad y las propiedades del lubricante, como se muestra en los dos ejemplos de la Figura 1.

En la Figura 1 se muestran los resultados de las pruebas con un cojinete COMPAC Thordon lubricado con agua y también con un típico cojinete metálico blanco lubricado con aceite. El cojinete lubricado con aceite comienza con un nivel de fricción menor que posteriormente se reduce con mucha rapidez hasta el nivel de fricción más bajo antes de volver a subir lentamente.

FIGURA 1 - CURVA TÍPICA DE FRICCIÓN CRUZADA ACEITE/AGUA



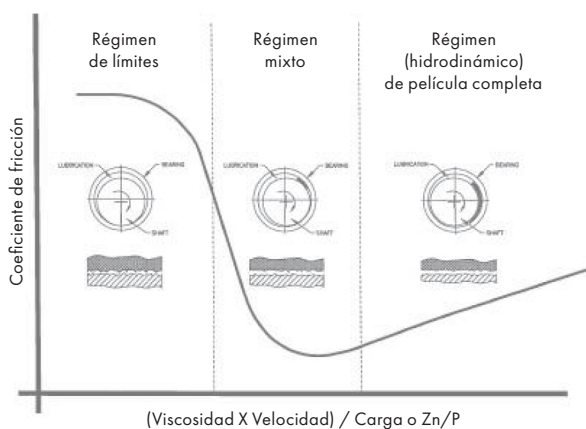
NOTA: Diámetro del eje: 101,4 mm (4"); relación L/D de 2:1; 0,6 MPa (87psi)

En la lubricación con agua, la fuerza de fricción comienza a un nivel superior debido a la poca lubricidad del agua y requiere una mayor velocidad para lograr un funcionamiento hidrodinámico. Esto se debe a la baja viscosidad del agua.

Es interesante observar que, en el rango de alta velocidad, la fuerza de fricción con la lubricación por agua es efectivamente menor que con el aceite. Una vez logrado el funcionamiento hidrodinámico, la fricción aumenta. Sin embargo, debido a la mayor viscosidad del aceite, las fuerzas de cizalladura y la fricción son mayores que con el agua.

Esto se ilustra con una «curva Stribeck» típica (Figura 2) que traza el coeficiente de fricción frente al parámetro hidrodinámico $Z\eta/P$. La curva se divide en tres regímenes de lubricación principales.

FIGURA 2 - LA CURVA STRIBECK



La curva Stribeck, en la que se ilustra la acumulación de película hidrodinámica

En el primer régimen (de límites) hay contacto directo entre el eje y el cojinete, lo que provoca valores de fricción altos. En esta región de la curva, la alta autolubricidad del cojinete es muy beneficiosa. A medida que aumenta la velocidad del eje nos adentramos en el segundo régimen (mixto), donde la película hidrodinámica comienza a acumularse y a «elevar» efectivamente el eje desde la superficie del cojinete. Como resultado de ello, hay menor contacto entre el eje y el cojinete y la fricción cae rápidamente. La velocidad sigue aumentando, lo que nos lleva al tercer régimen (hidrodinámico), en el que se acumula suficiente película hidrodinámica para eliminar todo contacto directo. A medida que la velocidad sigue creciendo la fricción comienza a aumentar debido a la creciente resistencia al corte o cizalladura que genera la viscosidad del lubricante.

La transición entre los diferentes regímenes de lubricación durante el funcionamiento de un cojinete depende principalmente de las propiedades del lubricante, la velocidad y la carga. El perfil de la curva y la definición de los puntos de transición dependerán de la geometría del cojinete, la relación de holgura, la autolubricidad del material del cojinete y el acabado superficial.

Debido a la mayor viscosidad del lubricante, se genera una película hidrodinámica con una velocidad de eje menor y los

puntos de transición se desplazan efectivamente a la izquierda. Sin embargo, el aumento de la viscosidad también aumenta el coeficiente de fricción mínimo operativo. Si se reduce el coeficiente de fricción del material del cojinete, disminuye la fricción con velocidades de eje inferiores al punto en el que se produce el funcionamiento hidrodinámico pleno. La geometría del cojinete y, concretamente, si el cojinete es ranurado o no también afectan a la curva. Un cojinete con una superficie continua y sin ranuras permite que la película hidrodinámica se acumule más rápidamente que en un cojinete con ranuras. Los cálculos hidrodinámicos reflejan que, para conseguir una película hidrodinámica, se necesita el doble de velocidad que con un cojinete sin ranuras.

La lubricación húmeda también tiene la ventaja añadida de poder disipar por fricción el calor generado, que es el enemigo de todos los cojinetes. Esto es especialmente significativo en los cojinetes Thordon ya que la baja conductividad térmica del material no permite mucha disipación del calor a través de la pared del cojinete (los cojinetes metálicos poseen una conductividad térmica mucho mayor y pueden disipar más calor a través de la pared del cojinete). La lubricación húmeda se puede lograr mediante varios métodos que difieren por su complejidad y su rendimiento. Hay sistemas de alimentación por goteo (normalmente, aceite), que son adecuados para velocidades lentas a intermedias con las que la acumulación de calor no es un problema. También se emplean sistemas de inmersión en los que el cojinete se sumerge total o parcialmente en una cantidad limitada de lubricante. El factor limitador de los sistemas de inmersión es que todo el baño por inmersión puede sobrecalentarse si el conjunto genera mucho calor. Un tercer método consiste en el flujo continuo de lubricante frío desde una fuente externa, que normalmente se suministra a presión. Este método es esencial para aplicaciones como los ejes de las hélices marinas, turbinas y bombas verticales en las que las altas RPM y/o cargas elevadas provocan la generación de una cantidad de calor que no puede disiparse mediante un baño de lubricante.

NOTA: REQUISITOS SOBRE EL CAUDAL DE AGUA

El cojinete Thordon utilizado en una aplicación con rotación completa puede requerir caudal de agua para la lubricación y el enfriamiento. Si es así, el caudal mínimo recomendado es de 0,15 litros por minuto por milímetro (1 galón americano por minuto por pulgada) de diámetro del eje. Podría requerirse un mayor caudal de agua de enfriamiento (por ejemplo, en cojinetes guía de turbinas verticales). Póngase en contacto con Thordon Bearings para consultarlo. El agua debe estar lo más limpia y fría posible. Se debe evitar un agua de «enfriamiento» a una temperatura superior a 40 °C (104 °F).

ii) Grasa

La grasa es una forma de lubricación que disminuye la fricción y permite la formación de una película lubricante. La grasa no es capaz de disipar el calor. Se aplica grasa nueva periódicamente para lubricar el cojinete y purgar la grasa usada y las impurezas. Es necesario realizar una lubricación periódica para evitar un funcionamiento en seco. La lubricación con grasa de los cojinetes Thordon debe limitarse a entornos relativamente limpios en los que la generación de calor no es un gran problema (véase el gráfico de PVT: figura 14F).

iii) Sin lubricación – Funcionamiento en seco

Los materiales del cojinete elastomérico Thordon pueden especificarse sin lubricación para aplicaciones de velocidad relativamente baja en las que no es posible realizar una lubricación regular o en las que la lubricación con grasa puede atraer a sustancias abrasivas. El cojinete Thordon SXL ofrece las mejores propiedades para el funcionamiento en seco debido al alto contenido de lubricante de su fórmula. De esta manera, se reduce la fricción y la generación de calor. Si la presión sobre el cojinete supera el límite aceptable para Thordon SXL, se puede plantear el uso de Thordon HPSXL. Puede funcionar en seco pero su resistencia a la abrasión no es tan óptima como la del SXL. Para aplicaciones con funcionamiento en seco y presiones aún mayores, Thordon dispone de ThorPlas o de una fina pared de HPSXL adherido a una estructura envolvente metálica.

iv) Curvas de presión, velocidad y tiempo (PVT)

A la hora de elegir el método de lubricación adecuado, puede resultar útil consultar las diferentes curvas de PVT (presión, velocidad, tiempo) que se incluyen en la sección de Guía de Diseño de este manual.



Ejemplo típico de un cojinete con desgaste por abrasión. ►

c) DESGASTE

El desgaste es la eliminación destructiva de material debido al contacto de superficies en movimiento relativo. El desgaste puede adoptar formas diferentes y es difícil de predecir debido a la gran complejidad del proceso.

i) Desgaste adhesivo

El desgaste adhesivo se produce cuando las pequeñas puntas de dos superficies ásperas entran en contacto entre sí y se sueldan o se adhieren, eliminando una partícula de desgaste. El desgaste adhesivo de los materiales del cojinete elastomérico Thordon es muy pequeño a temperaturas y presiones normales, pero se convierte en la principal causa de desgaste cuando la temperatura de trabajo alcanza los límites de funcionamiento máximos. Se establecen las temperaturas de trabajo máximas de los materiales del cojinete elastomérico Thordon para intentar evitar este tipo de desgaste. La cantidad de desgaste adhesivo está relacionada con la fricción entre las dos superficies, la presión sobre la superficie de trabajo y el tipo y cantidad de lubricación aplicada.

ii) Desgaste por abrasión

El desgaste por abrasión consiste en el desgaste de una superficie más blanda por parte de una partícula dura. Algunos ejemplos son el papel de lija o la muela rectificadora (abrasión de dos cuerpos), o las partículas de arena entre un cojinete y un eje (abrasión de tres cuerpos). El desgaste por abrasión real variará en función de la cantidad de abrasivos presentes y del tamaño, forma y composición de las partículas abrasivas.

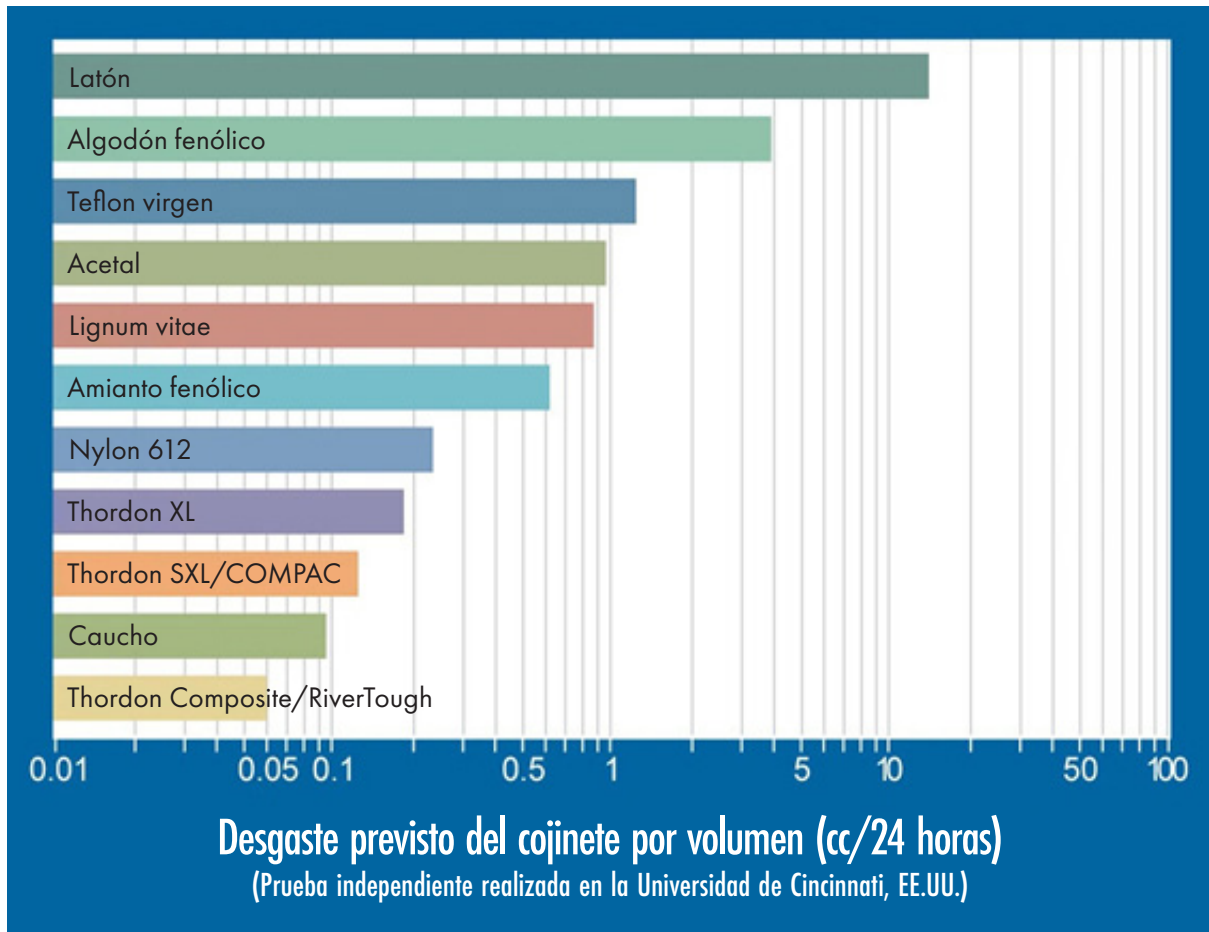
El mejor método para reducir el desgaste por abrasión es el de reducir o eliminar la cantidad de abrasivos empleando filtros o inyectando agua limpia. Si esto no es posible, también se puede reducir el desgaste por abrasión teniendo una superficie muy dura y otra relativamente blanda y dócil. Esto permite empujar las partículas abrasivas a la superficie más blanda y que estas rueden o se deslicen sobre el área de contacto provocando muy poco daño en el eje o el cojinete. La naturaleza elastomérica de los cojinetes Thordon facilita la resistencia al desgaste por abrasión porque el material se dobla cuando se encuentra con las partículas abrasivas. Con la rotación del eje, las partículas se desplazan por la superficie del cojinete hasta ser expulsadas por una ranura de lubricación. Con materiales más rígidos, las partículas abrasivas tienden a integrarse en el material y pueden provocar el desgaste del eje.

Un flujo continuo de lubricante nuevo (como cuando se aplica al eje de una hélice) y un cojinete Thordon ranurado ayudarán a expulsar partículas abrasivas y reducir el desgaste por abrasión. Las pruebas han demostrado que, en un entorno abrasivo, el cojinete lubricado con agua goza de una vida útil óptima con un eje muy duro, un cojinete Thordon RiverTough/Composite y un caudal constante de agua lubricadora.

iii) Comparación del desgaste

Un laboratorio de pruebas independiente de la Universidad de Cincinnati (EE.UU.) ha sometido a pruebas de desgaste minuciosas a cojinetes Thordon y cojinetes de otros materiales. En la figura 3 se muestran los resultados comparativos. Todos los materiales han sido comparados en pruebas realizadas en una máquina especialmente diseñada que emplea un lodo abrasivo en circulación. Véase la nota de la figura 3.

FIGURA 3 - ÍNDICES TÍPICOS DE DESGASTE POR ABRASIÓN DE UN COJINETE



NOTA: Abrasión de tercera partícula húmeda

Material del eje: acero al carbono

D.I. del cojinete: 2,5 cm (1 in)

Mezcla de lodo abrasivo: 2% de bentonita, 6% de arena, 6% de arcilla, 86% de agua

PROPIEDADES FÍSICAS

3) PROPIEDADES FÍSICAS

- | | | |
|--------------------------------|--|--------------------------------|
| a. Efectos térmicos | e. Rigidez | h. Resiliencia al impacto |
| b. Efecto del agua o el aceite | f. Deformación permanente, deslizamiento y relajación del esfuerzo | i. Histéresis |
| c. Factor de forma | g. Cizalladura | j. Resistencia química |
| d. Esfuerzo y deformación | | k. Propiedades físicas típicas |

a) EFECTOS TÉRMICOS

i) Límites de temperatura

Todos los cojinetes están sometidos a los efectos combinados de la temperatura ambiente y el calor por fricción generado durante el funcionamiento. Los materiales elastoméricos de Thordon, al igual que los demás cojinetes no metálicos, tienen una baja conductividad térmica en comparación con el metal así que esto debe tenerse en cuenta para limitar la acumulación de calor por fricción.

El límite superior de temperatura para los materiales elastoméricos Thordon que funcionan en un ambiente no acuoso es de 105 °C (225 °F). Por encima de 105 °C (225 °F), la superficie se ablanda. A medida que la superficie se ablanda, aumenta el coeficiente de fricción. Esto resulta, a su vez, en el aumento del calor. La temperatura aumenta más y el proceso continúa hasta que el cojinete falla. En algunos casos (como en la desalineación), se puede parar este aumento siempre que se proporcione un medio de enfriamiento.

El límite operativo inferior de los materiales elastoméricos Thordon es de -60 °C (-80 °F). Sin embargo, se puede usar nitrógeno líquido a una temperatura de -195 °C (-320 °F) en ajustes por contracción sin que el cojinete Thordon se vuelva demasiado frágil para ser ajustado.

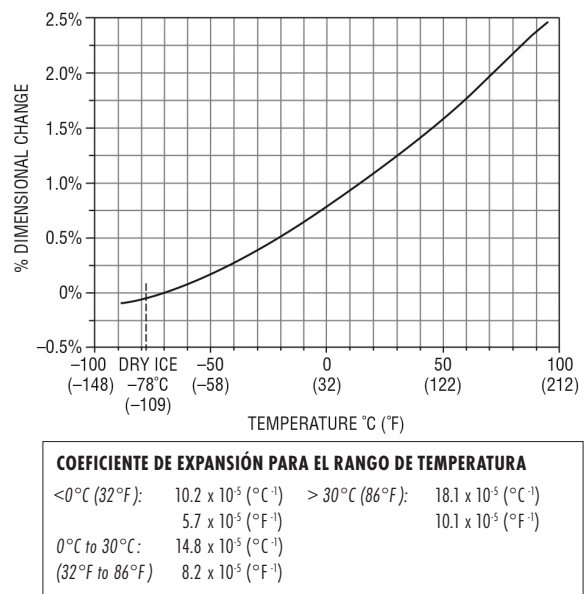
El límite superior de temperatura para los materiales elastoméricos Thordon que funcionan en un ambiente húmedo es de 60 °C (140 °F) debido a la hidrólisis. La hidrólisis se explica más detalladamente en la sección b) Efecto del agua o el aceite. Este límite también se aplica a otros líquidos con un importante contenido acuoso. En el caso de los cojinetes lubricados con aceite mineral de grado estándar, el límite superior de temperatura es de 75 °C (170 °F).

Thordon fabrica otros grados de polímero para temperaturas más altas. Póngase en contacto con Thordon para obtener información más detallada al respecto.

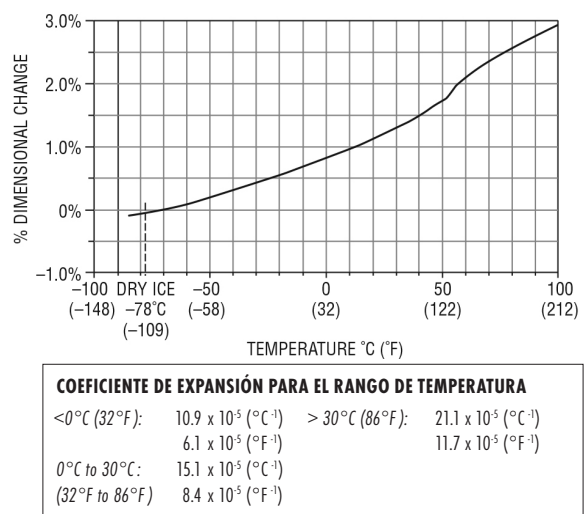
ii) Coeficiente de dilatación/contracción

El coeficiente de dilatación/contracción térmica de los materiales elastoméricos Thordon no es lineal, como ocurre con otros materiales no metálicos, y varía a lo largo de su rango de temperatura. Las figuras 4 y 5 muestran resultados típicos de los materiales Thordon que presentan coeficientes de contracción más bajos que los de dilatación. El coeficiente de dilatación térmica de HPSXL es $12 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ($6,7 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}$) y no presenta la misma no linealidad que SXL, COMPAC y XL.

**FIGURA 4 - THORDON XL Y GM2401
% CAMBIO DIMENSIONAL vs.
TEMPERATURA**



**FIGURA 5 - THORDON SXL Y COMPAC
% CAMBIO DIMENSIONAL vs.
TEMPERATURA**



b) EFECTO DEL AGUA O EL ACEITE

i) Absorción del agua

Los elastómeros Thordon se expande en agua aproximadamente un 1,3% por volumen, bajo condiciones atmosféricas y a una temperatura de 21 °C (70 °F) debido al carácter isotrópico de la estructura polimérica. A esta temperatura o una temperatura inferior, la expansión total puede llevar entre 6 y 18 meses dependiendo de la geometría. Si aumenta la temperatura, no solo aumenta el porcentaje de absorción volumétrica sino también el índice de absorción. En pruebas en las que se ha empleado agua a 60 °C (140 °F), la absorción volumétrica ha aumentado un 2,0% en 100 horas.

Se han realizado una serie de pruebas para determinar los efectos de la absorción del agua en los materiales elastoméricos Thordon con relación a un cojinete ajustado a presión en una carcasa. Estas pruebas han mostrado los efectos medios aproximados de la absorción de agua tanto en el cierre del calibre como en la longitud axial a 21 °C (70 °F). El efecto medio en el cierre del calibre es ,011 veces el espesor de la pared. El efecto medio en el aumento axial es ,005 veces la longitud del cojinete.

ii) Hidrólisis

Cuando los elastómeros Thordon son sometidos a una inmersión continua en agua caliente, p. ej., a una temperatura superior a los 60 °C (140 °F), el material se deteriora desde el punto de vista químico con el paso del tiempo debido a una reacción con el agua caliente. Este deterioro o avería se conoce como hidrólisis. Al principio, la superficie del material se ablanda y, posteriormente, se agrieta y se rompe. La hidrólisis también se produce con otros líquidos con un elevado contenido acuoso.



Ejemplo típico de un cojinete con hidrólisis.

iii) Absorción de aceite

La absorción de aceite lubricante de grado mineral estándar por parte de los elastómeros Thordon es mínima, especialmente a bajas temperaturas como 22 °C (72 °F). Se producen pocos cambios en las dimensiones y estos son menos relevantes que los que se producen con el agua a dichas temperaturas.

Sin embargo, con altas temperaturas de trabajo, hay que tener en cuenta la absorción volumétrica. Por ejemplo, a 75 °C (167

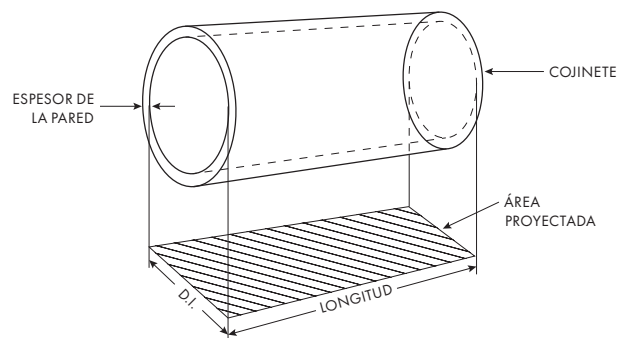
°F), la expansión volumétrica puede ser superior al 2,5%.

En la práctica, las tolerancias dimensionales empleadas para los cojinetes lubricados con agua también se emplean para los cojinetes lubricados con aceite. Esto se debe en parte a la preocupación por la menor conductividad térmica del aceite en comparación con el agua. Cuando se utiliza un tipo de aceite lubricante diferente, debe probarse su compatibilidad con los materiales Thordon antes de instalar el cojinete. Los elastómeros Thordon podrían reaccionar de manera diferente a aceites lubricantes no estándar. Un cambio importante en las dimensiones (más allá de lo previsto con el agua) o el ablandamiento tras la inmersión en el lubricante durante más de 24 horas indicarán que el lubricante no es compatible con los materiales elastoméricos Thordon.

c) FACTOR DE FORMA

Las pruebas de compresión de elastómeros han determinado que la curva de esfuerzo y deformación se ve afectada en gran medida por la forma de la pieza. Este efecto se conoce como Factor de Forma y se determina dividiendo el área cargada por el área libre para deformarse. Para una carga determinada, a medida que aumenta el factor de forma, disminuye la deflexión resultante del elastómero. La capacidad de carga de un elastómero se ve limitada por la cantidad de deflexión que puede aceptar por lo que el aumento del factor de forma permite que el elastómero soporte más carga.

FIGURA 6 - ILUSTRACIÓN DEL FACTOR DE FORMA



Es importante la relación entre el factor de forma y el cojinete de deslizamiento. En la figura 6, se indica cómo se aplica el cálculo a un cojinete ajustado en una carcasa.

$$\text{Factor de forma} = \frac{\text{Longitud}}{2 \times \text{Espesor de la pared}}$$

Utilizando la ecuación del factor de forma, puede observarse que, si se reduce el espesor, el factor de forma aumentará. El factor de forma utilizado en la mayoría de pruebas con productos Thordon es 8. En el siguiente apartado —d) Esfuerzo y deformación—, se muestran los resultados de las pruebas y el método utilizado en las mismas.

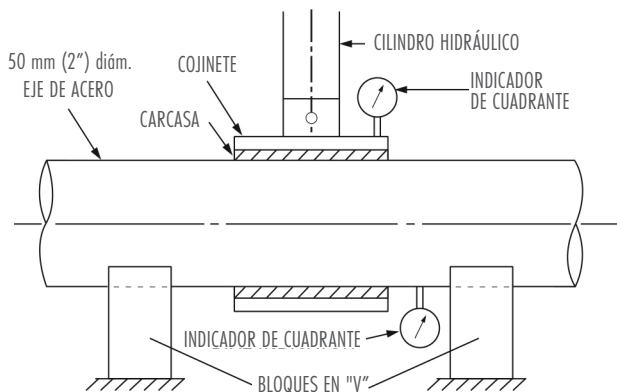
PROPIEDADES FÍSICAS

d) ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

Cuando se aplica una carga sobre los cojinetes elastoméricos Thordon, estos se mueven de acuerdo a la fuerza ejercida. En la compresión, el volumen no cambiará significativamente pero se puede producir un cambio importante en la forma.

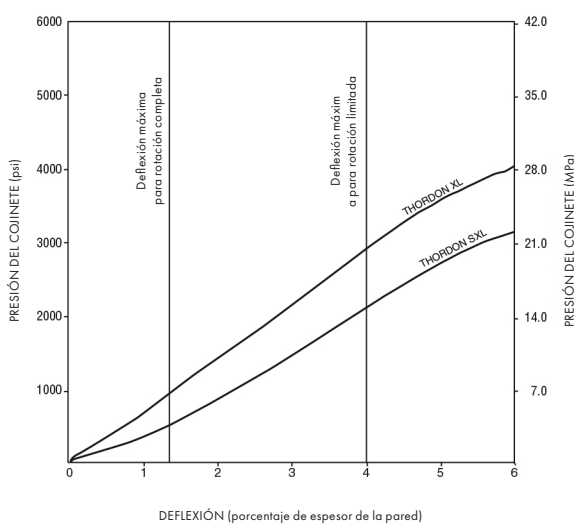
Las curvas normales de esfuerzo/deformación se determinan experimentalmente utilizando una máquina de ensayo de tracción y una muestra de ensayo estándar. Sin embargo, para recopilar datos más adecuados para la carga de un cojinete Thordon, ha sido necesario probar el material sometido a compresión utilizando un cojinete de forma típica.

FIGURA 7 - APARATO DE ENSAYO DE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN



En la figura 7 se muestra cómo se ha cargado el cojinete y cómo se ha medido la deflexión. Observe que la deflexión del eje se ha sustraído de la deflexión de la carcasa para poder obtener las deflexiones netas del cojinete.

FIGURA 8 - CURVAS DE ESFUERZO/DEFORMACIÓN DE LOS ELASTÓMEROS THORDON



CALIBRE: 50 mm (2") LONGITUD: 65 mm (2,5")
 ESPESOR DE LA PARED: 4,0 mm (0,155") FACTOR DE FORMA: 8

Con compresión, la curva de esfuerzo/deformación de los elastómeros Thordon de la figura 8 depende del factor de forma del material y de su capacidad para moverse contra el material de la carcasa y el acoplamiento. Para la misma deflexión, una muestra adherida soporta más carga que una muestra en la que el cojinete puede expandirse axialmente. Si se añade lubricación a la superficie de acoplamiento, permitiendo que el elastómero se mueva libremente durante el proceso de carga, se prevé que la curva será más plana que si la superficie de acoplamiento está seca.

Utilizando un factor de forma de 8, las pruebas han indicado un límite de deflexión máxima del 1,25% en el caso de las instalaciones de rotación completa y un 4% con el movimiento oscilante. Si se superan estos límites el rendimiento del cojinete puede empeorar. En estos límites no se tiene en cuenta ningún calor por fricción generado por el movimiento del eje.

Si llevamos el concepto del factor de forma hasta su conclusión lógica es posible diseñar cojinetes de deslizamiento Thordon capaces de funcionar con altas presiones. Por ejemplo, el cojinete HPSXL TRAXL de Thordon desarrolla factores de forma muy altos al adherir una fina capa de HPSXL de Thordon a una estructura envolvente metálica. Según el entorno operativo, los cojinetes HPSXL TRAXL pueden aceptar cargas de hasta 70 MPa (10.000 psi).

Los XL, SXL y COMPAC de Thordon son elastómeros auténticos y, como tales, no presentan una resistencia a la compresión final.

Con XL o SXL también se pueden fabricar cojinetes de mayor carga con un polímero de pared fina adherido a una estructura envolvente metálica.

e) RIGIDEZ

La rigidez de un cojinete depende tanto de sus parámetros dimensionales como de sus propiedades físicas. Los parámetros dimensionales son la longitud, el diámetro y el espesor de la pared del cojinete. La propiedad física que se debe tener en cuenta es el módulo de Young o módulo de elasticidad (Eo) en compresión del material del cojinete, que es igual al esfuerzo de compresión dividido por la deformación por compresión.

$$\text{Rigidez} = (L \times D \times E_o) / e$$

donde: L = Longitud del cojinete: mm (in)

D = Diámetro del cojinete: mm (in)

E_o = Módulo de Young en compresión: MPa (psi)

e = Espesor de Pared (E.P.): mm (in)

En el caso de los cojinetes con parámetros dimensionales iguales, la rigidez del cojinete es directamente proporcional al valor del módulo de Young en compresión para el material.

En la figura 9, se ofrece el valor de Eo, el módulo de elasticidad de Young en compresión, para diferentes materiales que se usan generalmente como cojinetes.

NOTA: Se ha supuesto que el factor de forma del cojinete es de 8 para estos cálculos. En el caso de los materiales elastoméricos, el módulo de elasticidad en compresión efectivo, E_o , aumenta poco con respecto a los aumentos proporcionalmente importantes en el factor de forma. Por tanto, se prevé que los valores de rigidez supuestos son precisos en un +/- 20% en un amplio rango de factores de forma del cojinete.

En los cálculos técnicos, la rigidez de las estructuras de apoyo del cojinete suele ser de entre 0,5 y 1,0 MN/mm (2,8 a 5,7 x 106 lb/in). Esta es mucho menor que la rigidez típica del material del cojinete, de entre 5,0 y 20,0 MN/mm (28,0 a 112,0 x 106 lb/in). La rigidez típica de Thordon es de 5 MN/mm (28 x 106 lb/in) aprox. y la rigidez típica de la película de agua es de 50 MN/mm (280 x 106 lb/in) aprox. Por consiguiente, la rigidez del material del cojinete no suele tenerse en cuenta en los cálculos de las vibraciones de los giros del eje. Cuando se especifican cojinetes de caucho, debido a su poca rigidez (20% a 25% de la rigidez de Thordon), los diseñadores de líneas de ejes pueden estar acostumbrados a tener en cuenta la flexibilidad del cojinete a la hora de calcular las vibraciones de los giros. Pero esto no se aplica a los cojinetes XL, SXL, COMPAC o HPSXL de Thordon porque, debido a una rigidez mucho más elevada, se puede suponer que, muy a menudo, son más rígidos que la estructura de apoyo del cojinete.

FIGURA 9 - MÓDULO DE ELASTICIDAD DE YOUNG EN COMPRESIÓN (E_o)

Material	E_o (MPa)	E_o (psi)
Thordon SXL/COMPAC	440	64,000
UHMWPE	480	70,000
Thordon XL	490	71,000
Thordon HPSXL	650	94,250
Fenólico laminado	2,500	362,594
Nylon	2,750	400,000
Familia ThorPlas	3,280	476,000
Metal blanco	33,500	4,860,000
Acero	206,900	30,000,000

f) DEFORMACIÓN PERMANENTE, DESLIZAMIENTO Y RELAJACIÓN DEL ESFUERZO

ij) Deformación permanente

La deformación permanente es la deformación residual que permanece después de la eliminación del esfuerzo deformante de compresión. En condiciones de funcionamiento normales, la deformación permanente no supone un problema para los cojinetes Thordon. Póngase en contacto con Thordon Bearings si un cojinete Thordon va a estar expuesto a una alta presión constante combinada con temperaturas superiores a 50 °C (122 °F).

Para reducir la deformación permanente, se debe aumentar el factor de forma. Así, se reduce la deflexión inicial y, consiguientemente, la cantidad de deformación permanente posible. Es especialmente importante aumentar el factor de forma cuando la presión sobrepasa los 10 MPa (1450 psi). En estas aplicaciones, se deben utilizar cojinetes Thordon TRAXL o ThorPlas.

ii) Deslizamiento

Cuando se somete un elastómero a una carga, se deformará proporcionalmente a dicha carga y en proporción inversa al factor de forma. También continuará habiendo algo de deformación con el tiempo. Este efecto se conoce como «deslizamiento». En el rango operativo normal de los cojinetes Thordon, el deslizamiento no constituye un factor importante. Tal y como ocurre con la deformación permanente, solo adquiere importancia cuando los cojinetes están expuestos constantemente a presiones y temperaturas altas. Se puede reducir la cantidad de deslizamiento, como de deformación permanente, aumentando el factor de forma a medida que aumenta la carga, reduciéndose así la deformación con una determinada presión.

iii) Relajación del esfuerzo

La relajación del esfuerzo es el resultado directo del deslizamiento y varía en función del nivel de esfuerzo. La relajación del esfuerzo suele expresarse en términos de porcentaje de esfuerzo restante después de un período de tiempo específico a una temperatura determinada. Este factor es importante a la hora de calcular las dimensiones de los cojinetes con ajuste de interferencia. Debe haber suficiente interferencia para garantizar la existencia de una fuerza de retención adecuada a lo largo del tiempo.

Las pruebas han determinado que los cojinetes Thordon pueden perder su ajuste de interferencia (por reducción del esfuerzo) en la carcasa cuando están sometidos a temperaturas elevadas. Los cojinetes SXL y COMPAC de Thordon reducen el esfuerzo a temperaturas superiores a 60 °C (140 °F) mientras que los cojinetes XL y RiverTough/Composite de Thordon lo hacen a temperaturas superiores a 80 °C (175 °F). Los cojinetes expuestos a temperaturas superiores a estos niveles no deben ser ajustados mediante ajuste de interferencia. Como alternativa, se recomienda la adhesión.

PROPIEDADES FÍSICAS

g) CIZALLADURA

La fuerza de cizalladura sobre un cojinete de deslizamiento es una función del coeficiente de fricción entre el cojinete, el eje y la carga nominal. Cuando los cojinetes son instalados mediante ajuste de interferencia, basta con la fuerza relativa para evitar la rotación. Si la fuerza de fricción o la carga normal aumentaran considerablemente —como una acumulación de abrasivos significativos—, la fuerza de cizalladura podría superar la fuerza de retención. Si se teme que aumente el coeficiente de fricción, póngase en contacto con Thordon Bearings.

h) IMPACTO/RESILIENCIA

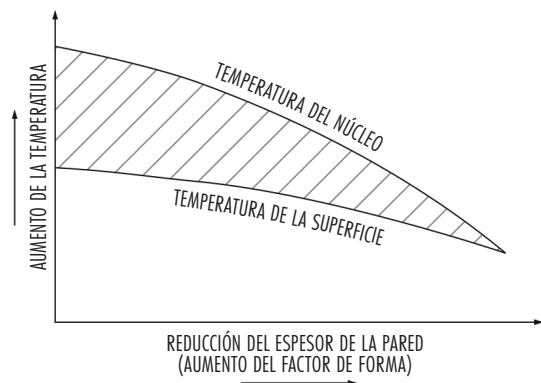
Los materiales elastoméricos Thordon, que presentan una gran resistencia al impacto, tienen la capacidad de absorber las cargas de choque y la elasticidad para recuperar su forma original. La elasticidad se define como la relación entre la energía empleada en la recuperación después de una deformación y la energía necesaria para producir la deformación. Esta combinación permite que los materiales elastoméricos Thordon resistan los golpes que provocan fallos con metal blanco o plásticos. Con una resistencia al impacto casi 10 veces mayor que la del nylon, los materiales elastoméricos Thordon son casi irrompibles. En aplicaciones donde las cargas de impacto son bastante poco frecuentes, se debe diseñar un cojinete con una pared de mayor espesor.

i) HISTÉRESIS

La histéresis es un tipo de fallo dinámico que se debe a una alta frecuencia de flexión. El fallo se produce cuando el material absorbe una carga de impacto y, antes de que pueda recuperarse completamente del primer impacto, se ve sometido a otro. Como consecuencia de ello, se acumula energía bajo la superficie del material en forma de calor. Si se deja que se acumule este calor, terminará dañando el material. La histéresis es el porcentaje de pérdida de energía por ciclo de deformación y se puede medir como la diferencia entre el porcentaje de elasticidad y el 100%.

Los materiales elastoméricos Thordon, debido a la naturaleza de sus fórmulas, pueden sufrir daños debido a la histéresis. Si la aplicación que se está planteando someterá a los materiales elastoméricos Thordon a cargas de impacto dinámicas que puedan provocar histéresis, hay algunas consideraciones sobre el diseño que reducirán la posibilidad de que surjan problemas. La figura 10 ilustra cómo el aumento del factor de forma (reduciendo el espesor de la pared) reducirá la deflexión y aumentará el ritmo de recuperación, disminuyendo así la creación y acumulación de calor. Una pared más fina también permite una mayor disipación del calor a través de la pared del cojinete y hacia la carcasa.

FIGURA 10 - EFECTOS DE LA HISTÉRESIS



j) RESISTENCIA QUÍMICA

Thordon no es corrosivo y es resistente al aceite, el agua y la mayoría de las sustancias químicas. No se ve afectado por los lubricantes utilizados normalmente con cojinetes de deslizamiento. Los materiales elastoméricos Thordon no se ven afectados por las inmersiones en sustancias cáusticas o ácidos suaves (pH entre 5 y 10) u otros entornos químicos que podrían ser perjudiciales para los cojinetes metálicos. Consulte la guía de resistencia química de los cojinetes elastoméricos Thordon en la figura 11.

Para aplicaciones críticas, se recomienda realizar una prueba de inmersión para determinar si el producto Thordon puede utilizarse de manera segura. Un ablandamiento considerable o cambios dimensionales después de veinticuatro horas de inmersión a las temperaturas de la aplicación indicarán que el producto Thordon no es adecuado para dicha aplicación. Si desea más información, póngase en contacto con su distribuidor de productos Thordon o con Thordon Bearings Inc.

FIGURE 11 - THORDON ELASTOMERIC BEARINGS CHEMICAL RESISTANCE

Fluido/Sust. Química	Chemical Resistance	Fluido/Sust. Química	Chemical Resistance
Soluciones salinas	A	Hidrocarburo/combustibles	A-B
Cloruro sódico	A	Aromáticos — benceno, tolueno	B
Ácidos débiles	B-D	Alifáticos — gasolina, grasa	A-B
Ácido acético	D	Aceites lubricantes (petróleo)	B
Ácido láctico	B	Disolventes clorados	D
Ácidos fuertes	B-D	Alcoholes	D
Sulfúricos, 5%	B-C	Etanol	D
Sulfúricos, concentrados	D	Metanol	D
Clorhídricos, 10%	B	Cetonas	D
Bases débiles	A-B	Metil éter cetona	D
Amoníaco disol. acuosa 10%	A	Acetona	D
Carbonato sódico	B	Éteres	D
Trietanolamina	B-D	Éter dietílico	D
Bases fuertes	B	Ésteres	D
Hidróxido sódico, 10%	B	Acetato de etilo	D
Agentes oxidantes	B-C	Acetato de metilo	D
Peróxido de hidrógeno, 1-3%	B	Freón 12	A-C
Ácido crómico	C	Aceites vegetales	A-B

A: Excelente - ningún efecto
C: Normal - efecto moderado

B: Óptima - poco efecto
D: Inaceptable

PROPIEDADES FÍSICAS

k) Figura 12 - Propiedades físicas típicas – Sistema métrico e imperial ⁽¹⁾

Propiedad ⁽²⁾		XL	SXL	HPSXL	COMPAC	RiverTough/ Composite (GM2401)	
Resistencia a la tracción final ASTM D-638	MPa	35	37,5	40	37,5	17	
	psi	5.000	5.450	5.800	5.450	2.500	
Valor de dureza nominal Shore D - ASTM D-2240		73	67	76	67	92 ⁽³⁾	
% Alargamiento - ASTM D-638		70	150	70	150	265	
Módulo de Young (elasticidad)	MPa	850	605	925	605	-	
	psi	123.000	88.000	134.000	88.000	-	
Coefficiente de Poisson		~ 0,45	~ 0,45	~ 0,45	~ 0,45	~ 0,45	
Impacto Izod - con muecas	julios/m	~150	~500	-	~500	{ muestra no rota	
Valor medio - ASTM D-256	pie-lb/in	~3	~9	-	~9		
Gravedad específica		1,21	1,16	1,28	1,16	1,10	
Conductividad térmica	W/m-k		~0,25	~0,25	~0,25	~0,25	
	Btu/h-pie-F		~0,14	~0,14	~0,14	~0,14	
Capacidad térmica	KJ/kg-k a 30 °C	~1,5	~1,5	~1,5	~1,5	~1,5	
	Btu/lbm-F a 86 °F	~0,36	~0,36	~0,36	~0,36	~0,36	
Coeficiente de dilatación térmica Deformación $\times 10^{-5} (^\circ\text{C}^{-1})$ or $(^\circ\text{F}^{-1})$				(-20°C < T < 80°C) (-4°F < T < 176°F) $12 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ o $6,7 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{F}^{-1}$			
	T < 0 °C	10,2	10,9		10,9	~10,2	
	0 °C < T < 30 °C	14,8	15,1		15,1	~14,8	
	T > 30 °C	18,1	21,1		21,1	~18,1	
	T < 32 °F	5,7	6,1		6,1	~5,7	
	32 °F < T < 86 °F	8,2	8,4		8,4	~8,2	
T > 86 °F	10,1	11,7		11,7	~10,1		
Aumento volumétrico (%) a 20 °C (68 °F)	- Agua	1,3	1,3	1,3	1,3	~1,3	
	- Aceite/grasa	1,3	1,3				
Deformación permanente (%) Ref, ASTM D395 método B		-	-	-	-	27%	
Coeficiente de fricción				< 200 Bar < 3000 psi	> 200 Bar > 3000 psi		
	En seco	estático	0,35 - 0,45	0,25 - 0,35	~0,35	0,09 - 0,15	0,25 - 0,35
		dinámico	0,30 - 0,40	0,10 - 0,20	0,28 - 0,35	0,07 - 0,12	0,10 - 0,20
	En húmedo	estático	0,30 - 0,40	0,25 - 0,35	0,30 - 0,40	0,08 - 0,15	0,25 - 0,35
dinámico		0,20 - 0,25	0,10 - 0,20	0,25 - 0,35	0,06 - 0,12	0,10 - 0,20	
Inflamabilidad - ASTM D-635-56T		AE ⁽⁴⁾	AE	AE	AE	AE	
Temperatura de trabajo (mín./máx.)	Seca ⁽⁵⁾	°C	-60/107	-60/107	-60/107	-60/107	
		°F	-76/225	-76/225	-76/225	-76/225	
	Húmeda	°C	-7/60	-7/60	-7/60	-7/60	-7/60
		°F	20/140	20/140	20/140	20/140	20/140
	Aceite/grasa	°C	/75	/75		/75	
		°F	/167	/167		/167	

Notas:

⁽¹⁾ El símbolo '~' indica que los valores son interpolados o aproximados y se basan en pruebas realizadas con este material o materiales similares en las instalaciones de la compañía.

⁽²⁾ Todas las pruebas realizadas para recopilar los datos anteriores se han llevado a cabo en condiciones rigurosamente controladas en nuestro propio laboratorio con el fin de garantizar la mayor precisión posible de los datos relativos. Tenga en cuenta que la comparación de la resistencia a la tracción es menos significativa en el caso de los materiales no metálicos, a diferencia de los metales. Esto es especialmente aplicable a los cojinetes no metálicos cargados con compresión.

⁽³⁾ Shore A.

⁽⁴⁾ AE – autoextinguible

⁽⁵⁾ El material utilizado a temperaturas secas superiores a 60 °C (140 °F) debe conservarse con medios positivos adecuados. Por favor, revise estas aplicaciones con Thordon Engineering.

4) GUÍA DE DISEÑO

- | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------|---|
| a. Análisis de las aplicaciones | e. Relación longitud/diámetro (L/D) | i. Ajuste |
| b. Presión del cojinete | f. Espesor de la pared | j. Reducción de la distancia inicial de instalación |
| c. Velocidad | g. Ranuras de lubricación | k. Proceso de selección de material |
| d. Gráficos de PVT | h. Superficie de acoplamiento | l. Problemas y causas del fallo del cojinete |

a) ANÁLISIS DE LAS APLICACIONES

Para analizar cualquier aplicación, se debe revisar y evaluar correctamente toda la información correspondiente.

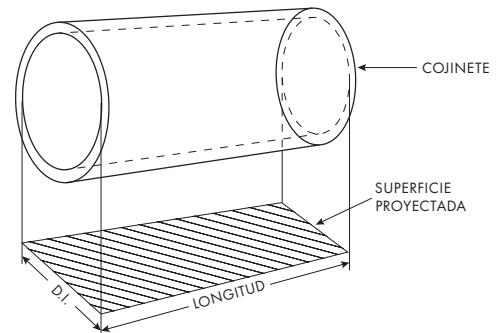
En la siguiente lista se enumeran los temas generales que se han tratado en las secciones anteriores o que van a tratarse en esta sección.

- Entorno operativo
 - i) Temperatura
 - ii) Abrasivo o limpio
- Presión
- Velocidad de deslizamiento
- Tipo de lubricación
- Tamaño
- Método de retención
- Material utilizado anteriormente y problemas asociados a este
- Superficie de acoplamiento
- Requisitos de vida útil
- Ciclo de trabajo
- Requisitos de distancia inicial

b) PRESIÓN DEL COJINETE

La presión del cojinete se calcula dividiendo la carga radial por la superficie de sección proyectada o transversal. La superficie proyectada se determina multiplicando el diámetro interior del cojinete por el largo del mismo, tal y como se muestra en la figura 13. El uso del diámetro interior multiplicado por la longitud del cojinete es una norma aplicada en el sector de los cojinetes para calcular la superficie proyectada para la presión del cojinete. La división de la carga por la superficie proyectada nos da la presión aproximada. Se da por hecho que la presión es uniforme en toda la superficie del cojinete. En realidad, la presión es máxima en la posición de las seis en el reloj y disminuye a cero en una curva parabólica cuando el eje comienza a estar a cierta distancia del cojinete. Por lo tanto, teniendo en cuenta la capacidad de carga, conviene mantener al mínimo las distancias u holguras.

FIGURA 13: PRESIÓN DEL COJINETE



La carga radial debe definirse como la carga máxima de diseño, la carga de funcionamiento normal o una combinación de cargas estáticas y de impacto. ¿Es la carga constante o cíclica? Todos estos factores deben ser analizados en el proceso de selección de la calidad, tal y como se indica en la subsección 4 a).

$$\text{Presión del cojinete} = \frac{\text{Carga radial}}{\text{Superficie proyectada}} = \frac{\text{Carga}}{\text{Longitud} \times \text{D.I.}}$$

c) VELOCIDAD

La velocidad de deslizamiento o velocidad periférica del eje es un factor de diseño importante. La velocidad es esencial a la hora de evaluar la generación de calor por fricción.

En el caso de los ejes rotativos se calcula utilizando la siguiente ecuación.

$$V \text{ (m/s)} = \frac{\pi d N}{60 \times 1000} \quad \text{or} \quad \frac{\text{Carga}}{19.100} \quad \text{(metric)}$$

$$V \text{ (fpm)} = \frac{\pi d N}{12} \quad \text{or} \quad ,262 \text{ dN} \quad \text{(imperial)}$$

donde:

- V = Velocidad de deslizamiento
- d = Diámetro del eje (mm o in)
- N = RPM del eje
- π = constante de pi 3,1416

d) GRÁFICOS DE PVT

Todos los análisis de cojinetes de deslizamiento se basan en tres factores. La presión, la velocidad y el tiempo (PVT) son factores individuales que no se pueden separar cuando se selecciona el material del cojinete porque el calor generado es proporcional a los tres, tal y como se muestra en la siguiente relación:

$$C \sim PV\mu T$$

donde:

- C = calor o aumento de la temperatura
- P = presión
- V = velocidad
- μ = coeficiente de fricción
- T = tiempo

Para poder evaluar una aplicación, es necesario saber el ciclo de trabajo del equipo. ¿Cuánto tiempo funciona al día, p. ej., 8 horas, 24 horas o se para y arranca? ¿Hay una rotación completa, que suele especificarse en RPM, pasa por un ciclo u oscila en un ángulo limitado? ¿En qué ángulo y con qué frecuencia se produce el movimiento y cuántas horas al día (Ciclo de Trabajo)? Todos estos factores influyen en la cantidad de calor por fricción que se generará bajo las presiones definidas.

Sin embargo, si el calor por fricción generado se elimina con un flujo suficiente de lubricante refrigerante como el agua, el aceite o un líquido del proceso, los cojinetes Thordon funcionarán bien a velocidades muy superiores a los límites indicados en los gráficos de PVT (véanse las páginas 18-20). Entre las aplicaciones típicas en las que ocurre estose incluyen los cojinetes de ejes de turbinas o bombas verticales y ejes de las hélices marinas, donde se suministra un caudal constante de agua fría. El caudal mínimo recomendado de agua de refrigeración es de 0,15 litros/minuto/mm (1 gal US/minuto/in) del diámetro del eje.

Los gráficos de PVT (figuras 14 A a F) han sido elaborados por Thordon Bearings Inc. para que sirvan de guía al ingeniero de diseño a la hora de elegir la calidad o grado correctos del producto Thordon para las presiones operativas, velocidades de deslizamiento y tiempos correspondientes. Las curvas han sido elaboradas aplicando la técnica de presión escalonada, donde el material es sometido a pruebas a una presión a diferentes velocidades utilizando la temperatura del cojinete como factor limitador. El límite de temperatura que se ha impuesto arbitrariamente para todas las calidades

Thordon durante las pruebas ha sido de 82 °C (180 °F), medido en el diámetro exterior del cojinete, a excepción de las pruebas dentro del agua. El límite en el agua se ha establecido en 60 °C (140 °F) para evitar la hidrólisis. Cuando se ha alcanzado la temperatura límite durante la prueba, se ha parado la prueba y se ha registrado el tiempo. Posteriormente, se ha dejado que la temperatura de la muestra volviera a la temperatura ambiente antes de repetir la prueba a otra velocidad. Las pruebas se han realizado utilizando cojinetes con un factor de forma de 4.

Para utilizar los gráficos, seleccione el tipo de lubricación que

más se acerca a su aplicación. Ubique el valor de velocidad de deslizamiento para su aplicación. Si la velocidad de deslizamiento entra en contacto con la curva más cercana a su presión, lea el tiempo que se requiere para alcanzar el límite de temperatura operativa. Si el tiempo necesario para su aplicación es menor que este valor, entonces esta aplicación probablemente sea adecuada. Si no lo es, hay que seleccionar una calidad diferente de Thordon o mejorar la lubricación o el enfriamiento suministrados.

Los gráficos de PVT para el aceite y el agua han sido elaborados realizando una inmersión de aceite o de agua sin caudal de líquido ni refrigeración. Si se puede diseñar un sistema que incorpore un caudal forzado de lubricante frío en lugar de una inmersión, gran parte del calor por fricción se disipará mediante el flujo del lubricante. Una vez que el cojinete está funcionando en condiciones hidrodinámicas, no se genera más calor por fricción a medida que aumenta la velocidad, a excepción de un pequeño aumento en el arrastre de fricción del lubricante. Este aumento es tan pequeño que no afecta al funcionamiento del cojinete.

Bajo las condiciones de caudal forzado de lubricante frío, no pueden aplicarse los límites de los gráficos. El eje de la hélice de una embarcación que se lubrica con agua o aceite es un ejemplo típico de esta situación.

Los gráficos de PVT solo se proporcionan a título orientativo. Los materiales elastoméricos Thordon han sido especificados con éxito en muchas aplicaciones con PVT que se salen del rango de los gráficos. Por ejemplo, el SXL de Thordon ha sido incorporado a varios diseños de bombas verticales donde funciona en seco durante periodos superiores a un minuto a velocidades superiores a las indicadas en las curvas.

NOTA 1: Para recibir recomendaciones sobre posibles aplicaciones que no se contemplan en los gráficos de PVT, póngase en contacto con su distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings Inc.

NOTA 2: Muchos fabricantes de materiales no metálicos ofrecen valores de PV que suelen publicarse con varias suposiciones incorrectas. La primera es que los valores de P y V tienen poca relevancia, siempre que se encuentren dentro del rango de valor del producto. La segunda, y quizás la más peligrosa, es el tiempo de prueba limitado que se emplea para desarrollar los valores de P y V. No se tiene en cuenta formalmente el factor temporal. Los gráficos de PVT de los cojinetes Thordon XL y SXL que se ilustran en la figura 14 reflejan que lleva tiempo generar calor por fricción.

NOTA 3: Estos gráficos se basan en resultados de laboratorio. Los resultados de las aplicaciones reales pueden variar.

NOTA 4: Estos valores orientativos se proporcionan únicamente como referencia. Los límites de PV de cualquier material varían con diferentes combinaciones de presión y velocidad así como con otras condiciones de prueba.

FIGURA 14A - GRÁFICO DE PVT PARA XL
Lubricación: seca

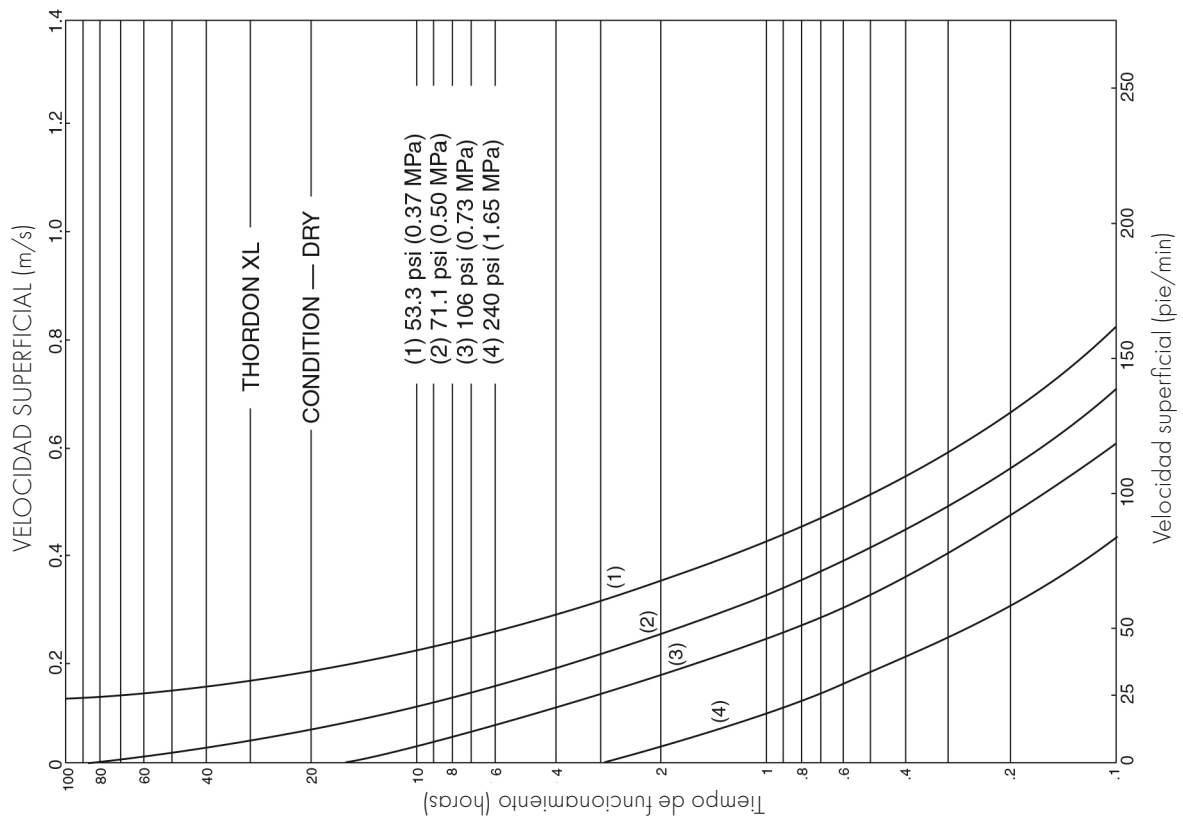
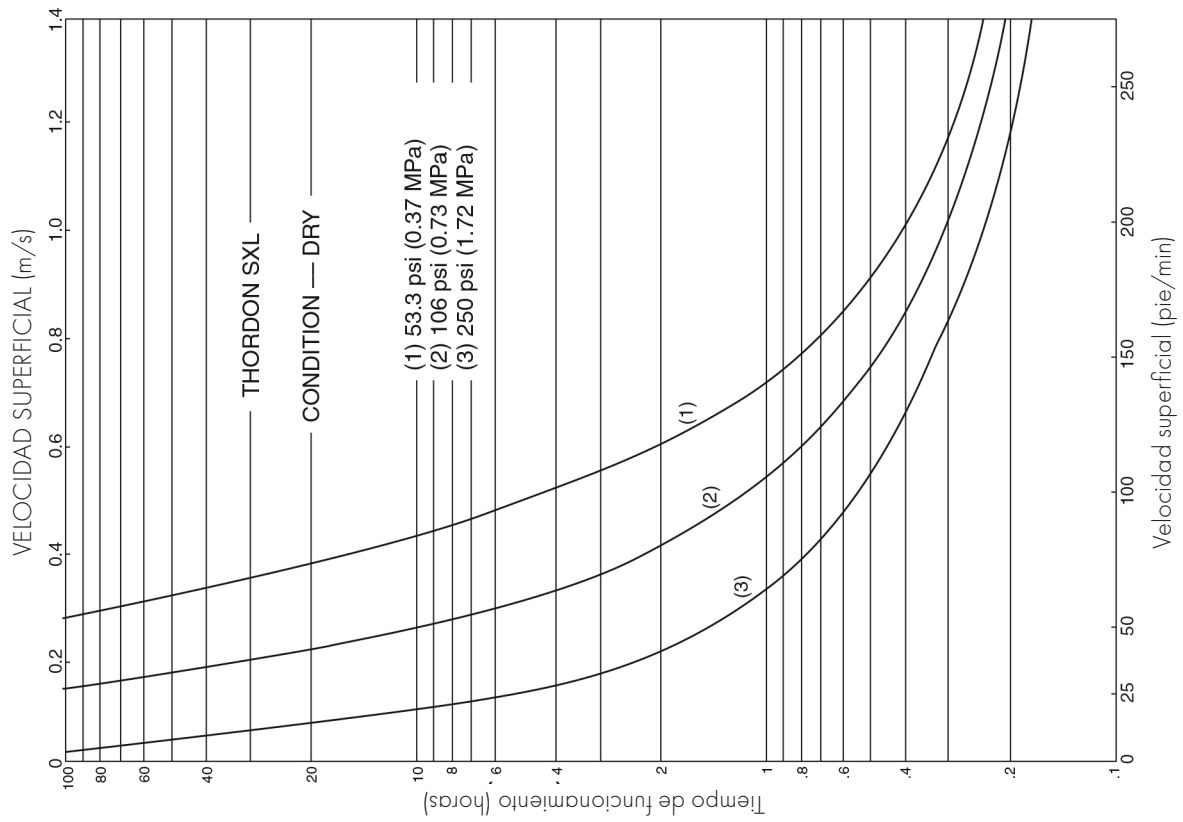


FIGURA 14B - GRÁFICO DE PVT PARA SXL
Lubricación: seca



NOTE: These tests were conducted using a bearing with a shape factor of 4.

FIGURA 14C - GRÁFICO DE PVT PARA XL
Lubricación: Inmersión en agua

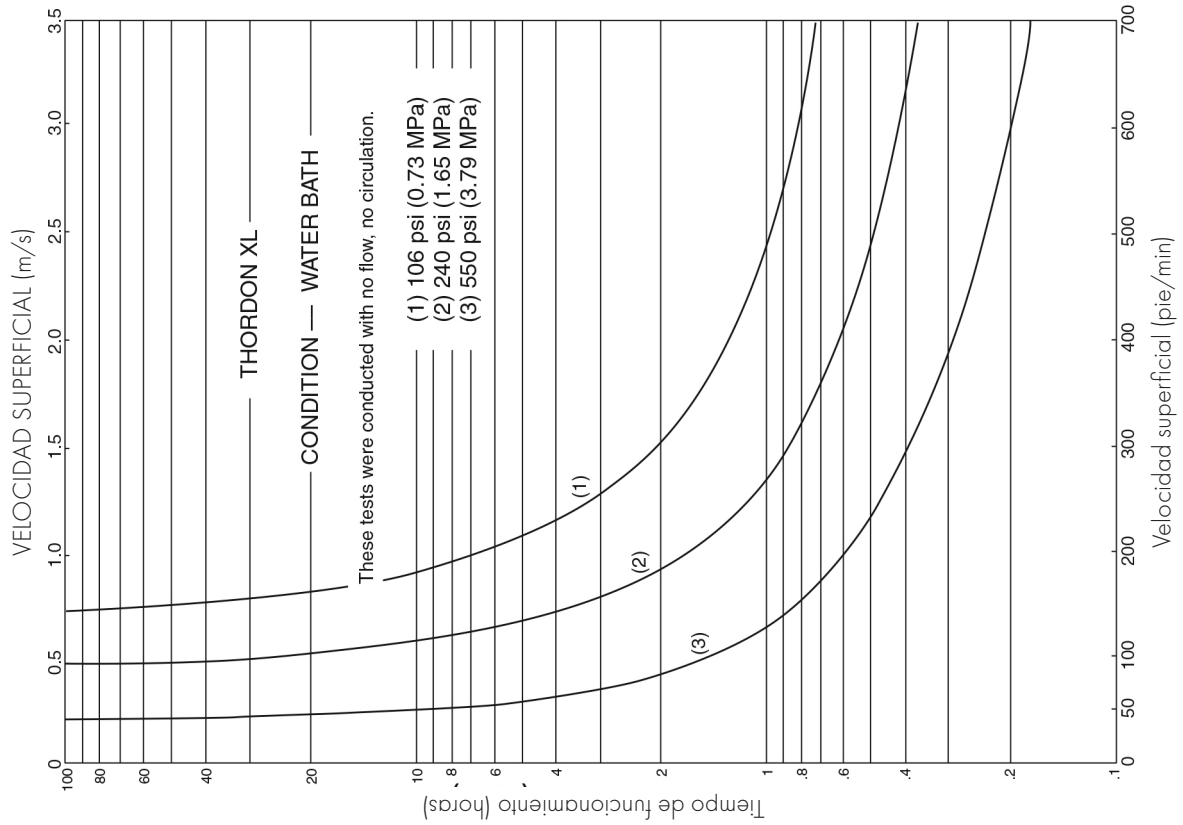
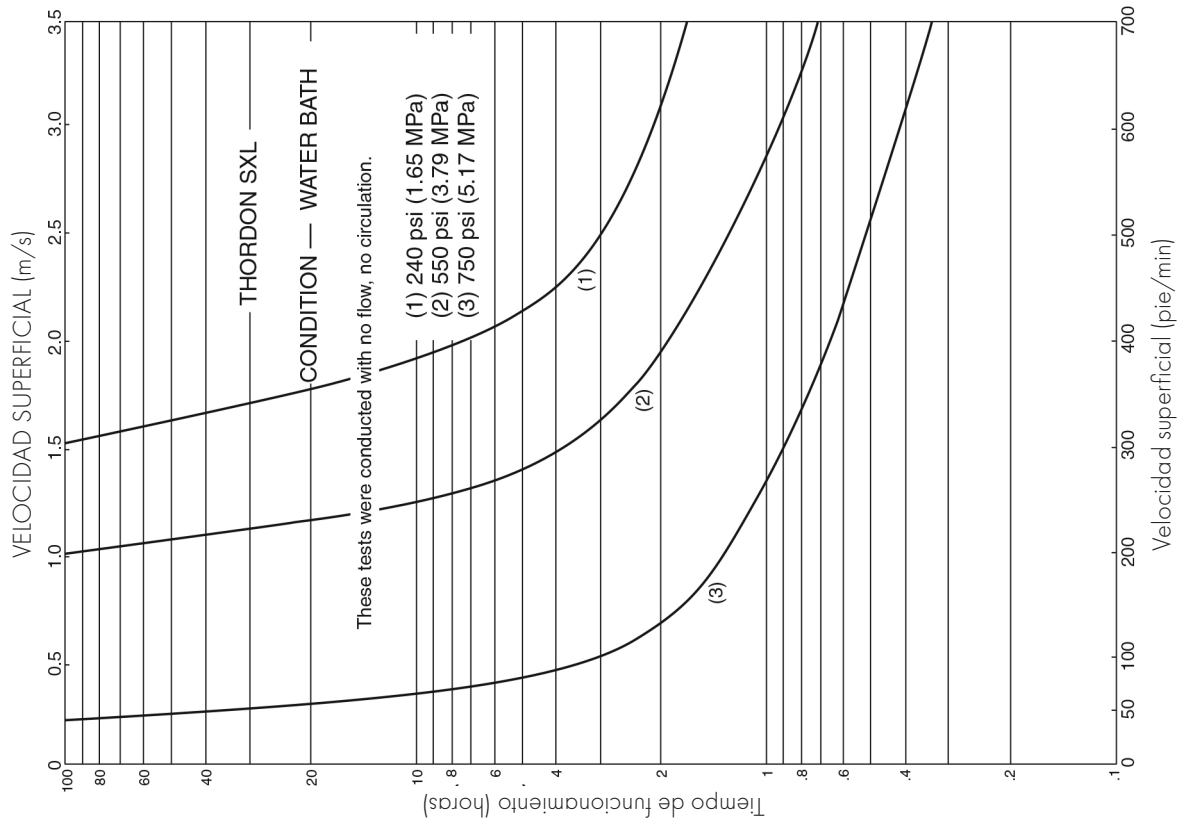


FIGURA 14D - GRÁFICO DE PVT PARA SXL
Lubricación: Inmersión en agua



NOTE: These tests were conducted using a bearing with a shape factor of 4.

FIGURA 14E - GRÁFICO DE PVT PARA XL Y SXL

Lubricación: Grasa

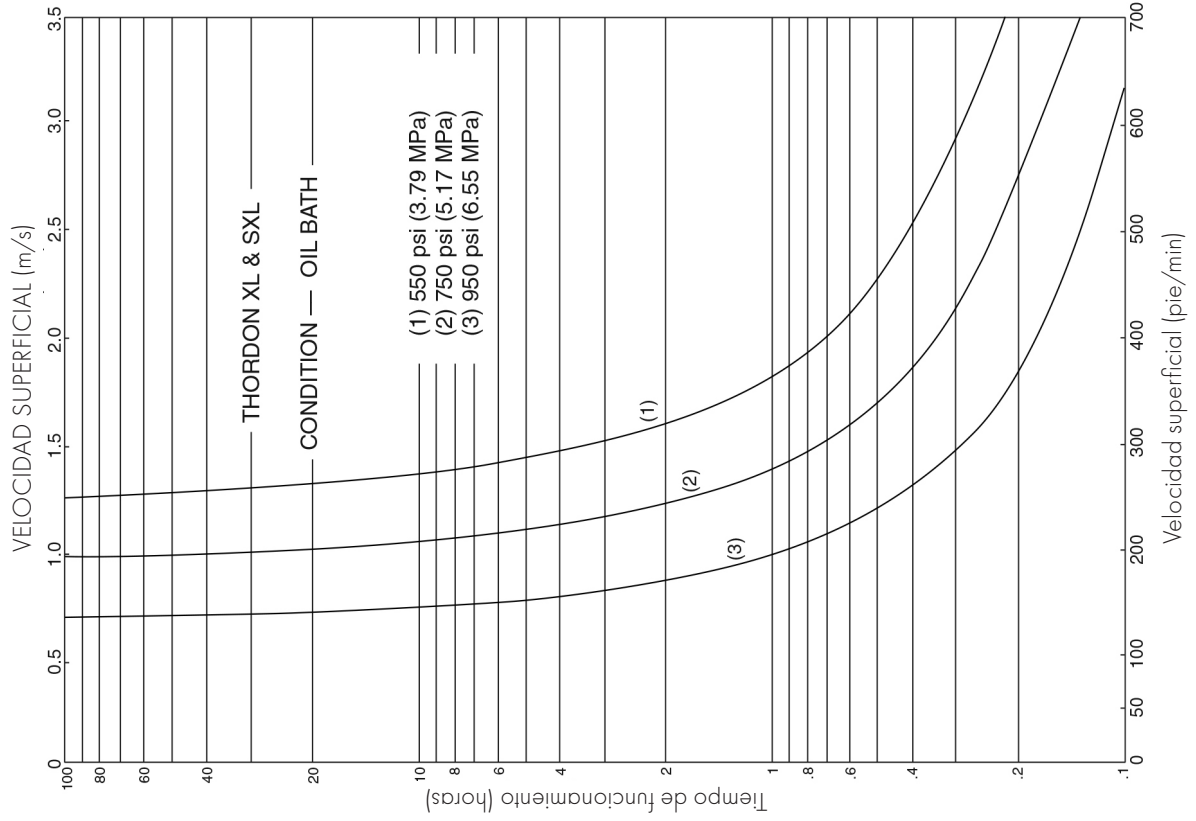
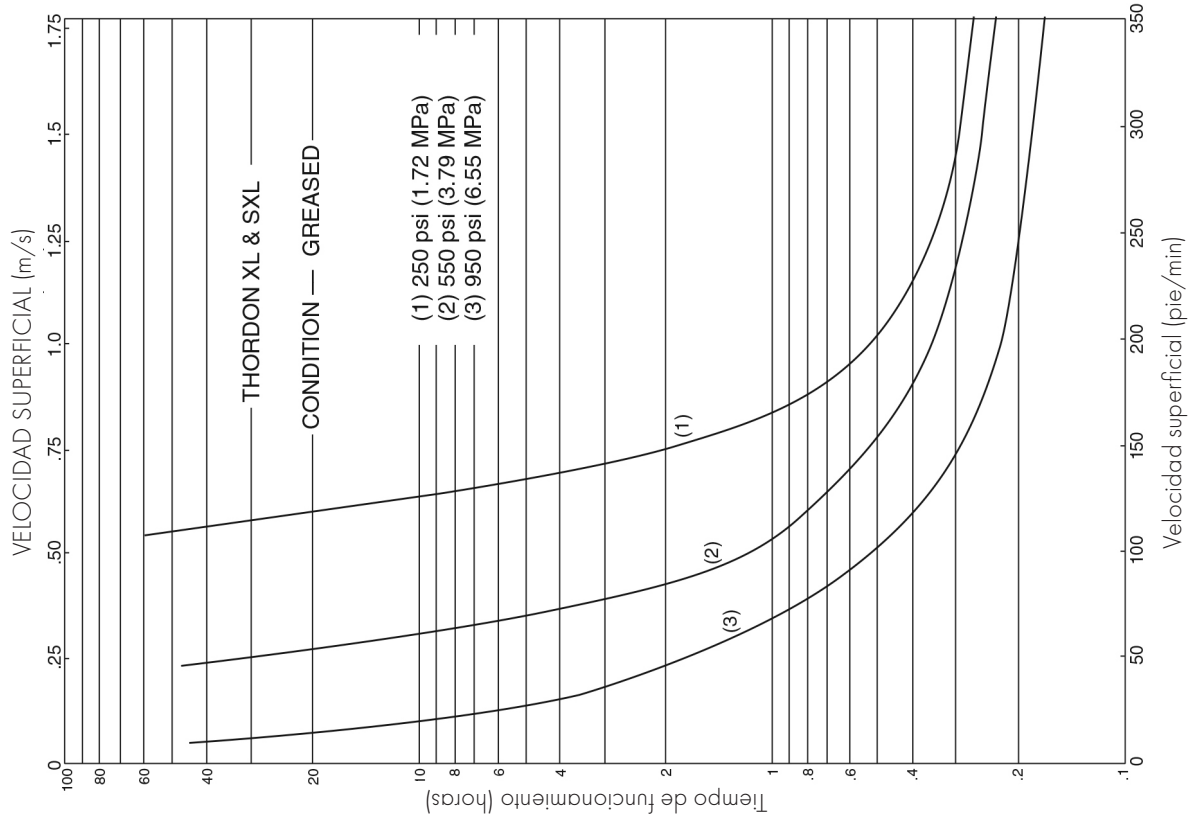


FIGURA 14F - GRÁFICO DE PVT PARA XL Y SXL

Lubricación: Inmersión en aceite



NOTE: These tests were conducted using a bearing with a shape factor of 4.

e) RELACIÓN LONGITUD/DIÁMETRO (L/D)

La relación L/D para un cojinete de deslizamiento industrial típico varía entre 1:1 y 1.5:1. Esta es una proporción óptima que permite un alineamiento fácil en el conjunto.

En aplicaciones con cojinetes para ejes de hélices lubricados con agua, la relación de L/D históricamente ha sido 4:1 con el fin de mantener baja la presión del cojinete, p. ej. en 0,25 MPa (36,25 psi). Sin embargo, debido a la carga en voladizo de la hélice, la presión tiende a ser mayor cerca de la hélice y casi cero en el extremo delantero. Durante el funcionamiento, la relación de L/D alta tiende a crear una fricción o arrastre más altos en el eje. Esto se debe a que la parte delantera del cojinete no está sosteniendo el eje y genera una cizalladura innecesaria del agua. Incluso puede haber contacto entre el eje y el cojinete en la parte superior de este, en el extremo delantero. Se ha sometido a pruebas a un cojinete de eje de hélice Thordon con una relación L/D de 2:1 en las mismas condiciones que la de 4:1 y se ha descubierto que genera menos fuerza de fricción. Gracias a los resultados de estas pruebas y al estímulo y apoyo recibidos de las sociedades de clasificación marítima, se ha desarrollado el sistema de cojinetes COMPAC de Thordon.

En la mayoría de aplicaciones, donde la carga del cojinete es uniforme, unas relaciones de L/D más altas reducen la presión y aumentan la vida útil de los cojinetes. El alineamiento resulta más difícil pero si la presión es alta, probablemente sea necesario aumentar la relación de L/D. En el caso de los cojinetes para ejes de hélice COMPAC, la relación de L/D suele ser 2:1 y no debería ser superior a 3:1. Se establece este límite porque existe preocupación por el suministro de agua de refrigeración adecuada para cojinetes muy largos que giran a velocidades relativamente altas. Los cojinetes de caucho suelen tener una relación de L/D de 4:1.

Para aplicaciones con rotación limitada a alta presión, se debe plantear el uso de los cojinetes Thordon HPSXL TRAXL o ThorPlas.

f) ESPESOR DE LA PARED

En una aplicación en la que se especifican materiales elastoméricos Thordon como cojinete de repuesto, la configuración del equipo existente suele determinar el espesor de la pared del cojinete.

Si el espesor de la pared del cojinete Thordon es excesivo se puede utilizar el cojinete colocando un manguito metálico en la carcasa o un revestimiento en el eje. Cualquiera de estos métodos permitirá reducir el espesor de la pared del cojinete. Si se coloca un manguito o un revestimiento en el eje, se añade otra ventaja: la presión disminuye debido al aumento del diámetro efectivo del eje y del diámetro interior del cojinete.

El grado de desgaste permisible antes de considerar que un cojinete está «gastado» también es un factor importante a la hora de determinar el espesor de pared. A este respecto, también hay que tener en cuenta la distancia máxima permitida y otros factores externos. En el caso de los cojinetes ranurados, el desgaste máximo permitido debe ser inferior a la profundidad de la ranura.

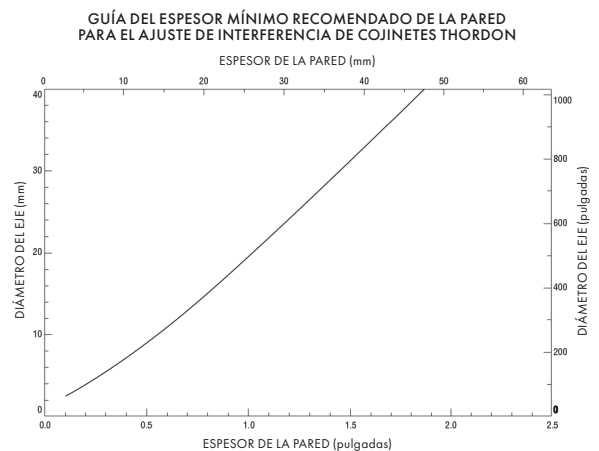
Dada la naturaleza elastomérica del material el cojinete

Thordon debe estar apoyado en toda su longitud. Un cojinete sin apoyo no llevará prácticamente ninguna carga. Si se puede especificar el espesor de pared en el diseño, en general es preferible utilizar una pared más fina. De esta manera, se pueden reducir las distancias y tolerancias generales, mejora la disipación del calor y la carga máxima permitida es mayor. Sin embargo, hay algunas aplicaciones, como aquellas con cargas de impacto poco frecuentes, en las que el efecto amortiguador de un cojinete de pared más espesa mejorará el rendimiento. Póngase en contacto con su distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings Inc. si necesita más ayuda con relación al espesor de la pared. Si proporciona información detallada sobre la aplicación, Thordon Bearings puede recomendarle el espesor de pared óptimo. El programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon también puede facilitarle esta información.

Guía del espesor de pared mínimo recomendado para el ajuste de interferencia

El espesor de pared mínimo recomendado de un cojinete Thordon se especifica en la figura 15. Los valores indicados se basan en la presión de contacto entre el cojinete y la carcasa. Si se aumenta el espesor de la pared o la cantidad de interferencia, aumentará la presión de contacto. Tanto en los cojinetes ranurados como no ranurados, el espesor de la pared del cojinete que forma una capa continua en la carcasa es el único material que se tiene en cuenta para el ajuste de interferencia. En el caso de los cojinetes ranurados, el espesor de pared mínimo será superior al de un cojinete no ranurado por la profundidad de la ranura porque solo se tiene en cuenta el espesor que hay detrás de la ranura a la hora de calcular la presión de contacto. Con los cojinetes Thordon RiverTough/Composite, solo se debería tener en cuenta el espesor del material de la estructura envolvente exterior amarilla a la hora de establecer el espesor de pared mínimo. El material superficial operativo del cojinete (GM2401) es demasiado blando como para contribuir a la presión de contacto.

FIGURA 15 - GUÍA DEL ESPESOR DE PARED



NOTA: En los cojinetes ranurados, el espesor de la pared se mide desde la parte inferior de la ranura hacia el D.E.

GUÍA DE DISEÑO

Si se sustituye el cojinete Thordon por otro cojinete y el espesor de pared es inferior al valor mínimo recomendado, existen dos opciones. Se puede adherir el cojinete o se puede aumentar la interferencia para elevar la cantidad de presión de contacto a un nivel aceptable. Póngase en contacto con su distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings Inc. para obtener más ayuda si va a aumentar el nivel de interferencia.

NOTA 1: La información anterior se aplica a Thordon XL, SXL y COMPAC. No se aplica a HPSXL. No se recomienda Thordon HPSXL para el ajuste de interferencia. Debería adherirse.

g) RANURAS DE LUBRICACIÓN

Para aplicaciones en las que fluye líquido por la superficie del cojinete, como los cojinetes de los ejes de hélices o bombas verticales, se mecanizan o moldean ranuras de lubricación en el cojinete para que el lubricante fluya más fácilmente por el cojinete. Las ranuras también permiten el paso de los abrasivos. El número de ranuras así como su profundidad y anchura cambian en función del tamaño del cojinete, su configuración y el espesor de pared disponible. Las ranuras para agua suelen tener una profundidad de 7 mm (0,27") para diámetros de eje de 400 mm (16") o superiores pero no deberían tener una profundidad superior a la mitad del espesor de la pared. La anchura de la ranura suele ser igual a la profundidad pero se puede aumentar cuando las ranuras son muy poco profundas como para garantizar un caudal de agua suficiente. En el programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon, se ofrece información detallada sobre la profundidad y número de ranuras necesarios para una aplicación con cojinetes ranurados basándose en las dimensiones del eje y la carcasa.

Póngase en contacto con Thordon Bearings si desea más información sobre las ranuras de lubricación.

FIGURA 16 - DUREZA DEL MATERIAL DE ACOPLAMIENTO UTILIZADO NORMALMENTE¹

MATERIALES	DUREZA			OBSERVACIONES
	Rockwell C	Rockwell B	Brinell ⁵	
Acero inoxidable ² 316	(16) ⁴	95	(205)	Recocido
Acero inoxidable Duplex 2205 (S 31803)	30.5	(105)	290	
Acero inoxidable S41000	(1) 26 a 43	82 (103 a 113)	(156) (258 a 400)	Recocido Aceite enfriado desde 1010 °C y templado
Acero inoxidable S17400	31 33 a 44	(106) (108 a 114)	(294) (311 a 409)	Recocido Agua enfriada desde 1038 °C y templada
Acero inoxidable S30400	N/A	81	(153)	Recocido
Bronce industrial (G1) ³ C90500	N/A	N/A	70 a 95	
Bronce industrial con plomo (LG4) C92200	N/A	N/A	70 a 85	
Cobre-níquel 70/30 C96600	N/A	74	(135)	
Inconel [®] 625	(21)	98	(228)	Recocido
Inconel [®] 600	N/A	75	(137)	Recocido
Níquel-Cromo-Boro (NiCrB)	> 60	N/A	> 654	Revestimiento superficial

Notas:

- ¹ Se enumeran los valores de dureza para su consulta rápida. Si es necesario, consulte los libros especializados en dureza de los materiales para obtener información más detallada.
- ² Consulte Stainless Steel, ASM Specialty Handbook, editado por J.R. Davis, 1994, ISBN:0-87170-503-6 para obtener información detallada sobre el acero inoxidable.
- ³ Consulte el "Standards Handbook", Cast Copper and Copper Alloy Products, publicado en 1996 por la Copper Development Association Inc., 260 Madison Ave., New York, NY 10016 para obtener información detallada sobre el bronce.
- ⁴ El número entre paréntesis ha sido convertido con respecto al que no va entre paréntesis utilizando tablas de conversión y solo se incluye a efectos comparativos.
- ⁵ La escala BRINELL utilizada en esta tabla es BHN 3000 kg.

h) SUPERFICIE DE ACOPLAMIENTO

La mayoría de superficies de acoplamiento metálicas comunes ofrecen un buen rendimiento cuando se utilizan junto con los cojinetes Thordon. En la figura 16 se muestra la dureza de los materiales de acoplamiento utilizados normalmente. Si la corrosión no representa un problema se suele utilizar acero al carbón pero, si preocupa la corrosión, como en el caso del cojinete para ejes de hélice lubricado con agua, entonces se debe colocar un revestimiento de bronce en el eje. Entre los broncees comunes que funcionan bien, se encuentran el bronce industrial (88% Cu, 10% Sn y 2% Zn) o el cobre-níquel 70-30. No se recomienda el níquel-aluminio-bronce porque la experiencia ha demostrado que puede provocar a elevados índices de desgaste. Tampoco se recomienda el uso de aluminio ni titanio.

El acero inoxidable también se utiliza mucho como revestimiento de ejes junto con los cojinetes Thordon. Si hay abrasión, se deben evitar grados de acero inoxidable más blandos como el 304. Asimismo, se deben evitar los grados más blandos de la línea de ejes Aquamet® si los ejes van a estar expuestos a una abrasión considerable. Es preferible utilizar grados de acero inoxidable más duros como el Inconel® 625. En lugar de un revestimiento, algunos fabricantes emplean acero inoxidable soldado en espiral o Inconel® 625 a lo largo de todo el eje, o en los gorriones.

En aplicaciones con cojinete para gorrón muy abrasivas, la superficie de acoplamiento teóricamente óptima es la superficie práctica más dura del eje así como un material de cojinete dócil y duradero. Para abrasivos severos, se recomienda utilizar un cojinete Thordon RiverTough/Composite y una superficie de acoplamiento con una dureza mínima de 40 Rockwell C. Las diferentes calidades de Thordon desgastan poco el eje. En general, materiales de cojinete más blandos como los de Thordon tienden a desgastar menos el eje y provocan menos desgaste combinado del cojinete y el eje.

Los materiales más duros para el eje y los materiales más blandos para el cojinete son los extremos necesarios para que el desgaste combinado sea mínimo en un entorno muy abrasivo. Si se cambia el eje por un material más blando o si se cambia el cojinete por un material más duro, el desgaste combinado aumentará. Si el entorno contiene menos abrasivos, entonces disminuirá la necesidad de utilizar el material más duro para el eje o el material más blando para el cojinete. Por consiguiente, otros factores como el requisito de baja fricción podrían adquirir relevancia a la hora de elegir el cojinete.

En un entorno limpio con lubricante (lo cual solo ocurre en la teoría), servirá cualquier combinación pero el viejo principio de que el cojinete debe ser más blando que el eje de acoplamiento siempre es una buena recomendación. Se debe evitar el funcionamiento conjunto de materiales similares. Los materiales elastoméricos Thordon no deben utilizarse junto con un revestimiento de eje elastomérico Thordon.

El acabado superficial del eje de acoplamiento debe ser lo más liso posible para limitar el desgaste inicial de asentamiento. Las pruebas realizadas en Thordon han demostrado que se genera menos calor por fricción con un eje más liso, aumentando así el límite de PVT. Thordon ofrece un buen rendimiento con un acabado mecanizado normal en el eje. Para obtener un rendimiento óptimo, se recomienda un acabado superficial final de acoplamiento mecanizado de 0,4 a 0,8 micrómetros (16 a 32 micropulgadas) de Ra. Unos acabados superficiales del eje de acoplamiento de hasta 1,6 micrómetros (63 micropulgadas) de Ra ofrecen un rendimiento satisfactorio.

i) AJUSTE

Los cojinetes Thordon XL, SXL, COMPAC y RiverTough/Composite suelen ajustarse mediante el ajuste de interferencia. La instalación es rápida y fácil, especialmente cuando se emplea el ajuste por congelación. Los cojinetes Thordon también pueden adherirse.

La adhesión —con un adhesivo aprobado por Thordon— es adecuada en las siguientes situaciones:

- cuando se utiliza un cojinete de pared fina y la fuerza de retención no es suficiente para el ajuste de interferencia;
- cuando el D.I. de la carcasa no está mecanizado o cuando no ofrece el apoyo adecuado a lo largo de todo el cojinete;
- cuando los cojinetes están sometidos a altas temperaturas que podrían provocar que «reduzcan el esfuerzo» y pierdan la fuerza de retención de un ajuste de interferencia;
- cuando se utiliza Thordon HPSXL;
- cuando la carcasa no es redonda o se ha dañado debido a la corrosión, etc.

Las dimensiones finales de un cojinete Thordon dependerán de cómo va a ser ajustado. La selección del mejor método de ajuste es muy importante y depende de los requisitos de la aplicación.

Un ajuste de interferencia basta para impedir la rotación del cojinete en condiciones normales de funcionamiento, pero se requiere un tope delantero y un aro de seguridad con extremo atornillado para garantizar que el cojinete no se mueva axialmente. Los aros de seguridad deben ser del tamaño adecuado y deben tener un diámetro interior aproximadamente 3 mm (1/8") superior al diámetro de la ranura o 3 mm (1/8") superior al D.I. de un cojinete no ranurado. Los topes y los aros de seguridad no son obligatorios cuando se adhiere el cojinete, pero se recomienda su uso en aplicaciones críticas como medida de seguridad. Si la orientación del cojinete es un factor crucial, como en el caso de los cojinetes con perforación desplazada del centro o los cojinetes COMPAC, se recomienda colocar un dispositivo antirrotatorio.

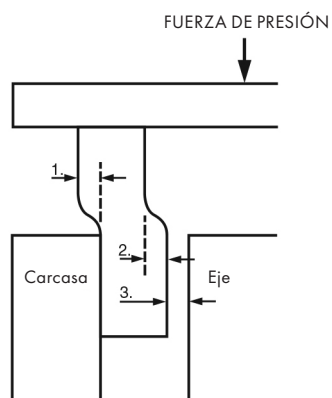
GUÍA DE DISEÑO

(i) Interferencia

La mayoría de aplicaciones emplean el ajuste de interferencia suponiendo que se han tenido en cuenta todos los factores de diseño relevantes. Sin embargo, es necesario que la relación de L/D del cojinete sea, como mínimo, de 1:1. La experiencia práctica ha demostrado que se puede presionar fácilmente los cojinetes pequeños para introducirlos en la carcasa mientras que los cojinetes de mayor tamaño encajan más fácilmente cuando son contraídos con hielo seco o nitrógeno líquido. Nunca se debe calentar la carcasa para facilitar el ajuste ni utilizar grasa o aceite para que ayuden cuando se ajusta a presión.

En los casos en que el cojinete se instala con un ajuste de interferencia, tal y como se muestra en la figura 17, también debe tenerse en cuenta el efecto que tiene la interferencia en el diámetro interior del cojinete. Este efecto, conocido como cierre del calibre, se explica en la sección 5 - Diseño según la aplicación.

FIGURA 17 - PARÁMETROS DE AJUSTE DE INTERFERENCIA



Donde:

1. es la interferencia 2. es el cierre del calibre 3. es la distancia u holgura de instalación operativa

Nota: Distancia de instalación mínima = Distancia de funcionamiento
+ Tolerancia de dilatación térmica (si procede)
+ Tolerancia de absorción de agua (si procede)

Todos los cojinetes con ajuste de interferencia que se mecanizan completamente antes de la instalación están expuestos a una acumulación de tolerancias que puede generar una distancia u holgura de instalación adicional. Por ejemplo, cuando un cojinete es diseñado con una holgura mínima, su holgura real dependerá de las tolerancias de mecanizado acumuladas del espesor de la pared del cojinete, además de las tolerancias del eje y de la carcasa. Esta acumulación de tolerancias puede reducirse mecanizando solo el D.E. del cojinete antes del ajuste y, posteriormente, mecanizando el D.I. al 5%, como máximo, del espesor de la pared después de instalar el cojinete. De esta manera, desaparecerá la acumulación de tolerancias asociada al cierre del calibre, la pared del cojinete y el D.I. de la carcasa.

El cierre del calibre es el más variable de los factores que afectan a las dimensiones de instalación de los cojinetes Thordon.

Puede haber situaciones en las que, en la práctica, el cierre del calibre varíe con respecto al cierre pronosticado en nuestras pruebas, pudiendo provocar holguras o distancias adicionales. Si no se puede mecanizar el D.I. del cojinete después de su instalación, se puede ajustar un cojinete de prueba en una carcasa «simulada» para determinar el cierre exacto del calibre para la aplicación en cuestión. El acabado del D.I. de la carcasa «simulada» debe ser el mismo que el de la carcasa real. Después, si es necesario, se pueden realizar los ajustes correspondientes. También se pueden mecanizar los cojinetes en la carcasa «simulada» para retirarlos posteriormente de esta y encajarlos en la carcasa real. Este segundo método suele emplearse a veces con los cojinetes para turbinas y bombas verticales, en los que hay que mantener la menor distancia inicial de instalación posible.

(ii) Ajuste por congelación

El ajuste por congelación es la forma más fácil de instalar cojinetes Thordon diseñados con un ajuste de interferencia. Los cojinetes Thordon se contraen mucho cuando se enfrían debido a su alto coeficiente de contracción/dilatación térmica, lo cual permite un fácil ajuste sin tener que utilizar sistemas de elevación u otros equipos costosos. El nitrógeno líquido es el agente refrigerante óptimo pero también se puede utilizar hielo seco para la mayoría de instalaciones si no se dispone de nitrógeno líquido. Cuando se ajusta por congelación los cojinetes Thordon RiverTough/Composite, se debe utilizar hielo seco y no nitrógeno líquido.

El nitrógeno líquido solo puede utilizarse en un recipiente hermético para impedir fugas. El cojinete debe quedar completamente sumergido en el nitrógeno líquido, o cubierto uniformemente por este. Cuando deja de salir vapor del nitrógeno líquido, ello significa que el cojinete ha alcanzado una temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$) y puede ser instalado con facilidad (unos 5 a 30 minutos en función del área superficial del cojinete). En el caso de los cojinetes de gran tamaño o de pared gruesa, probablemente habrá que comprobar las dimensiones del cojinete para saber si este se ha contraído lo suficiente para permitir una fácil instalación. Si se utiliza hielo seco como medio de enfriamiento, este deberá ser suministrado en pellets o deberá romperse en trozos pequeños si se ha suministrado en bloque. El hielo seco debe colocarse de manera que quede bien adherido alrededor del D.E. del cojinete, dejando algo de holgura alrededor de su D.I. y haciendo contacto tanto con la superficie interior como la exterior. Después de 3 horas de haber estado envuelto en hielo seco, se pueden comprobar las dimensiones del cojinete para saber si este se ha contraído lo suficiente como para permitir una instalación fácil. Si no es así, habrá que volver a envolver el cojinete durante una hora más.

ATENCIÓN: Se debe evitar el uso de nitrógeno líquido o grandes cantidades de hielo seco en lugares cerrados o con mala ventilación. Los gases emitidos tienden a desplazar el oxígeno existente y pueden ser letales.

La cantidad aproximada de contracción que se puede prever puede calcularse de la siguiente manera:

Cada $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de descenso de temperatura provocará en el diámetro una disminución aproximada de $0,0014\text{ mm/mm}$ de diámetro.

(Cada $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de descenso de temperatura provocará en el diámetro una disminución aproximada de $0,0008\text{ in/in}$ de diámetro).

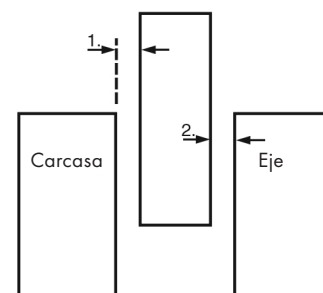
(iii) Adhesión

Tal y como se ha indicado anteriormente, la adhesión es una alternativa aceptable al ajuste de interferencia en algunos casos. El espesor de la capa de adhesivo debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar el D.E. del cojinete. Cuando los cojinetes están adheridos a las carcasas, el D.I. del cojinete no se ve afectado por el cierre del calibre (véase la figura 18).

Para mantener la acumulación de tolerancias al mínimo se debe mecanizar el D.E. del cojinete y, posteriormente, adherir el cojinete a la carcasa. Luego se debe mecanizar el D.I. Este método se usa en aplicaciones con bombas en las que hay que mantener al mínimo la distancia del rotor.

Para obtener buenos resultados, hay que seguir los procedimientos de adhesión utilizando adhesivos aprobados por Thordon, tal y como se indica en la sección 7. La adhesión debe realizarse a una temperatura constante durante todo el proceso de endurecimiento del adhesivo. Las variaciones de temperatura durante el endurecimiento pueden afectar negativamente a la integridad de la adhesión. La combinación de congelación y adhesión no funciona bien porque la humedad/escarcha del cojinete congelado tiene un importante efecto negativo en la fuerza de adhesión.

FIGURA 18 - PARÁMETROS DE AJUSTE POR ADHESIÓN



Donde:

1. es el espesor del adhesivo 2. es la distancia u holgura de instalación operativa

Nota: Distancia de instalación mínima = Distancia de funcionamiento
+ Tolerancia de dilatación térmica (si procede)
+ Tolerancia de absorción de agua (si procede)

(iv) Carcasa del cojinete

La carcasa dentro de la cual se instala el cojinete Thordon debe ser redonda, estar alineada, y no debe ser cónica ni tener boca acampanada. La ovalidad máxima permitida de la carcasa es de 1/3 de la distancia de funcionamiento inicial (normal) de diseño. Además, la carcasa debe proporcionar apoyo al cojinete Thordon en toda su longitud. Las brechas en la carcasa u otras anomalías deben rellenarse o corregirse mediante el mecanizado, instalando un manguito, adhiriendo el cojinete (para brechas de hasta 3 mm (0,125")) o colocando un compuesto que sirva de cuña y haya sido aprobado por Thordon.

Si la carcasa no está alineada o si hace falta perforar una inclinación, debe corregirse la falta de alineación o la inclinación existente en la carcasa. No se recomienda perforar para compensar los cojinetes Thordon después del ajuste porque ello podría afectar negativamente a los esfuerzos circunferenciales de interferencia. Como alternativa, se puede alinear el cojinete mecanizado y, posteriormente, adherirlo o colocar una cuña, o se puede alinear un cojinete «simulado», verter compuesto a modo de cuña alrededor del cojinete «simulado» y después retirar dicho cojinete dejando una carcasa alineada redonda de material de cuña dentro de la cual puede instalarse el cojinete Thordon mediante ajuste por congelación o ajuste a presión.

j) REDUCCIÓN DE LA DISTANCIA INICIAL DE INSTALACIÓN

La distancia inicial de instalación de los cojinetes Thordon suele ser mayor que la distancia de funcionamiento final debido principalmente a que la distancia inicial incluye tolerancias de absorción y dilatación térmica. Dichas tolerancias desaparecen durante el funcionamiento del equipo pero esto lleva su tiempo.

En algunas aplicaciones hay que mantener la menor distancia de instalación inicial posible. Un ejemplo típico de ello es el cojinete para bombas verticales. La distancia u holgura de funcionamiento final puede ser aceptable pero, cuando se tienen en cuenta la tolerancia de absorción, la dilatación térmica y la acumulación de tolerancia, la distancia inicial acumulada puede ir más allá de los requisitos de diseño. En tales casos, hay que plantearse formas de reducir la distancia inicial.

Hay varias opciones:

1. Cojinete más fino - Tanto la absorción como la dilatación térmica varían en función del espesor de la pared del cojinete. Reduciendo el espesor de la pared, se reducen las tolerancias de estos factores, disminuyendo así la distancia inicial. Para reducir el espesor de la pared se suele reducir el diámetro de la carcasa. El programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon puede resultar útil para esto porque calcula la «distancia de instalación mínima». Puede servir para determinar qué espesor de pared ofrecerá la distancia inicial requerida. La pared puede pasar a ser demasiado fina para un ajuste de interferencia así que podría requerirse la adhesión.
2. Reducir las variaciones de cierre del calibre – El cálculo del cierre del calibre (efecto de la interferencia en el D.I. del cojinete) es el aspecto menos preciso de los cálculos dimensionales de los cojinetes Thordon. El cierre de calibre real depende de una serie de factores, entre los que se incluye el acabado mecanizado del cojinete y la carcasa. Hay varias formas de reducir las variaciones en el cierre del calibre:
 - a. Si se reduce la relación longitud/diámetro del cojinete, se reducirán las variaciones en el cierre del calibre en toda la longitud.
 - b. Realizando un mecanizado final del calibre del cojinete después de instalarlo. El mecanizado después de ajustar el cojinete en la carcasa elimina el efecto del cierre de calibre porque ya se ha producido. También elimina el efecto de la acumulación de tolerancias en la pared del cojinete. Pero este método elimina material tensionado que está provocando el «agarre» del cojinete dentro de la carcasa así que se debe retirar el mínimo material posible.
 - En los cojinetes no ranurados esta fase de mecanizado no debe eliminar más del 5% del espesor de la pared.
 - En los cojinetes ranurados no es tan relevante porque el material del calibre soporta mucho menos esfuerzo.
 - c. Sin embargo, el mecanizado debe limitarse al 10% del espesor de la pared o al 25% de la profundidad de la ranura, el que sea menor. Las ranuras de lubricación siempre deben mecanizarse antes de ajustar el cojinete dentro de la carcasa.
 - d. Ajuste del cojinete dentro de una carcasa simulada antes de mecanizar el D.I. Este método es una variación del descrito anteriormente en «b» y puede aplicarse cuando no resulta práctico instalar el cojinete en su carcasa definitiva para el mecanizado del D.I. La carcasa simulada debe tener exactamente las mismas dimensiones y acabado de mecanizado que la carcasa definitiva. Este método es menos preciso porque no elimina las variaciones de tolerancia del mecanizado existentes en la carcasa. Se siguen aplicando las mismas restricciones que en el método «b» anterior en cuanto a la cantidad de material que puede retirarse.

k) PROCESO DE SELECCIÓN DEL MATERIAL

En toda aplicación de cojinetes, la principal consideración debe ser la de garantizar que el calor por fricción generado en el deslizamiento sea absorbido y disipado por el mecanismo circundante o sea extraído por un caudal de lubricante o refrigerante. Debe haber un equilibrio en el sistema para alcanzar un equilibrio térmico, que debe estar por debajo del límite de temperatura del material. De lo contrario, el cojinete fallará.

La segunda consideración es el tipo de entorno en el que está funcionando el cojinete, por ejemplo, uno muy abrasivo o limpio, lo cual afectará a la selección del material.

NOTA: La guía general de selección de material para aplicaciones industriales (figura 19) ha sido elaborada para seleccionar la calidad correcta del cojinete Thordon para varios parámetros de la aplicación y debe utilizarse junto con los gráficos de PVT.

La guía de selección de material no contempla ninguna generación de calor. Si la velocidad periférica es lo suficientemente alta como para generar calor por fricción, entonces la presión máxima será bastante menor. Por ejemplo, en los ejes de hélices marinas con cojinetes de eje Thordon COMPAC, SXL y XL, la presión máxima se limita a 0,6 MPa (87 psi).

Para aplicaciones a alta presión en las que el calor por fricción generado no es un factor importante debido ya sea a un movimiento oscilante o a velocidades muy bajas, el cojinete debe ser diseñado con un factor de forma muy alto, por ejemplo, superior a 100, como en el cojinete Thordon HPSXL TRAXL.

CALIDADES DE THORDON

Thordon XL (negro) se utiliza en diversas aplicaciones industriales y marinas.

- bajo coeficiente de fricción (normalmente, 0,20-0,25)
- alta resistencia a la abrasión en aplicaciones en seco
- alta resistencia a la carga de choque y a la vibración

Thordon SXL (blanquecino) ofrece una capacidad superior para el funcionamiento en seco, un coeficiente de fricción más bajo y una resistencia a la abrasión similar en comparación con el XL.

- coeficiente de fricción más bajo (normalmente, 0,10-0,20) que el XL
- mayor relación PV (Presión-Velocidad) en seco que el XL
- mayor resistencia a la abrasión que el XL en aplicaciones en húmedo; buena resistencia a la abrasión funcionando en seco
- capacidad de arranque en seco como el cojinete para bomba vertical
- alta resistencia a la carga de choque y a la vibración

NOTA: Si se utiliza el SXL en bombas verticales en las que hay que tener en cuenta el arranque en seco, consulte a Thordon Bearings sobre el diseño del cojinete. Thordon recomienda un tiempo máximo de funcionamiento en seco basándose en la velocidad periférica del eje y en la carga que soporta el cojinete.

Thordon COMPAC (naranja) es una calidad de alto rendimiento de Thordon que se utiliza en sistemas abiertos de cojinetes para ejes de hélices lubricados con agua. El cojinete COMPAC, especialmente diseñado con un bajo coeficiente de fricción para reducir la fricción del arranque y las sacudidas, posee una configuración única que favorece la formación temprana de una película hidrodinámica con menos RPM del eje.

El sistema de cojinete COMPAC es una calidad aprobada para relaciones de L/D de 2:1. Las propiedades de diseño de COMPAC son similares a las de SXL.

Thordon RiverTough/Composite (estructura envolvente exterior amarilla, estructura interior negra - conocido como GM2401) es un cojinete para bombas y usos marinos formado por dos componentes y que ha sido diseñado para entornos muy abrasivos.

- se utiliza en aplicaciones rotativas y en condiciones hídricas abrasivas, como en bombas y sistemas para dragado
- excelente resistencia a la abrasión - dos o más veces la resistencia a la abrasión del caucho
- un coeficiente de fricción mucho menor que el del caucho
- mayor resiliencia y rigidez que el caucho
- disponible con estructuras envolventes metálicas o poliméricas amarillas

Thordon HPSXL (gris) ha sido diseñado para aplicaciones con mayor presión, como un material homogéneo o como el componente de los cojinetes HPSXL TRAXL (HPSXL adherido a una estructura envolvente metálica).

- presión dinámica de trabajo máxima de 15,0 MPa (2175 psi) con movimiento limitado
- HPSXL TRAXL tiene una presión dinámica de trabajo máxima de 55,0 MPa (8000 psi) con movimiento limitado
- el menor coeficiente de fricción (normalmente, 0,06-0,12)
- resistencia moderada a la abrasión (menor resistencia a la abrasión que XL o SXL)
- alta resistencia a la carga de choque y a la vibración
- TRAXL también está disponible con XL y SXL para aplicaciones con presión extrema, con una capacidad de carga por compresión algo menor

ThorPlas-Azul y ThorPlas-Blanco son materiales no elastoméricos desarrollados por Thordon específicamente como cojinetes para una alta presión homogénea.


- presión dinámica de diseño máxima de 45 MPa (6527 psi)
- bajo coeficiente de fricción (normalmente, 0,10-0,17)
- muy poco desgaste en entornos no abrasivos
- resistencia a la abrasión razonable (menos que los grados elastoméricos Thordon) pero mejor que el bronce, fenólicos epoxídicos y muchos otros materiales de cojinete no metálicos

Este manual no cubre ThorPlas.

Si desea más información, póngase en contacto con su distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings para conseguir el Manual técnico de los cojinetes ThorPlas.

GUÍA DE DISEÑO

FIGURA 19 - GUÍA GENERAL DE SELECCIÓN DE MATERIAL PARA APLICACIONES INDUSTRIALES

Parameter	CALIDADES THORDON				
	SXL	RiverTough/ Composite (GM2401)	XL	ThorPlas-Azul	ThorPlas-Blanco
Descripción	Aleación de polímero elastomérico	Aleación de polímero elastomérico	Aleación de polímero elastomérico	Termoplástico diseñado	Termoplástico diseñado
Límite de temperatura	60 °C (140 °F)	60 °C (140 °F)	60 °C (140 °F)	80 °C (176 °F)	80 °C (176 °F)
Apto para arranque en seco	Sí**	NO	NO	Sí**	Sí**
Resistencia a ácidos	Limitada	Limitada	Limitada	Limitada	Buena
Resistencia a álcalis	Limitada	Limitada	Limitada	Limitada	Normal
Suitable for Hydrocarbons	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Resistencia a la abrasión	Muy buena	Excelente	Buena	Aceptable	Aceptable
Distancia de instalación	Media a baja	Mayor	Media	La más baja	La más baja
Material del manguito del eje	Bronce, acero inoxidable	Ni-Cr-B recomendado	Bronce, acero inoxidable	Bronce, acero inoxidable	Bronce, acero inoxidable
Lubricación	Agua, agua de mar, la mayoría de fluidos (pH 5-10)	Agua, agua de mar, la mayoría de fluidos (pH 5-10)	Agua, agua de mar, la mayoría de fluidos (pH 5-10)	Agua, agua de mar, la mayoría de fluidos (pH 3-11)	Agua potable
Observaciones	Poca fricción. Apto para arranque en seco. Buena resistencia a la abrasión.	Para uso en entornos operativos muy abrasivos.	Buen equilibrio entre resistencia a la abrasión y nivel medio de fricción.	La fricción más baja. Bueno para aplicaciones con poca abrasión. Para uso a temperaturas y en soluciones químicas no aptas para elastómeros Thordon.	Certificación internacional NSF para norma NSF/ANSI 61 relativa a componentes que entran en contacto con sistemas de agua potable. Material aceptado por la CFIA.  Certified to NSF/ANSI/CAN 61 Certified to NSF/ANSI 61 Material aprobado por el WRAS británico
<p>** Con tiempos de arranque en seco superiores a 30 segundos, póngase en contacto con Thordon Engineering para elegir la calidad correcta.</p> <p>Nota: Para uso nuclear, se pueden facilitar certificados de control de calidad, incluidos los informes de pruebas certificados. Thordon Bearings Inc. opera según lo dispuesto en el 10 CFR21.</p>					

Esta es una guía general para uso exclusivo como referencia técnica. Las aplicaciones críticas que se acercan a los límites de presión o temperatura o que están sometidas a entornos no estándar deben ser revisadas y aprobadas por Thordon Engineering.

FIGURA 20 - GUÍA GENERAL DE SELECCIÓN DE MATERIAL PARA APLICACIONES INDUSTRIALES SEGÚN LA LUBRICACIÓN/PRESIÓN OPERATIVA

Lubrication / Operating Pressure	RECOMMENDED THORDON GRADES		
	★★★★★ Excelente	★★★★★ Buena	★★★ Normal
En seco (sellado o pocos abrasivos)			
0-10 MPa (0-1450 psi)	SXL	ThorPlas-Azul	-
10-15 MPa (1450-2175 psi)	HPSXL	ThorPlas-Azul	-
15-45 MPa (2175-6525 psi)	ThorPlas-Azul	HPSXL TRAXL	-
45-55 MPa (6525-8000 psi)	HPSXL TRAXL	-	-
En seco (presencia de abrasivos)			
0-5.5 MPa (0-800 psi)	XL	SXL	ThorPlas-Azul
5.5-10 MPa (800-1450 psi)	SXL	ThorPlas-Azul	-
10-15 MPa (1450-2175 psi)	HPSXL	ThorPlas-Azul	-
15-45 MPa (2175-6525 psi)	ThorPlas-Azul	-	-
En húmedo (sellado o pocos abrasivos)			
0-10 MPa (0-1450 psi)	SXL	ThorPlas-Azul	-
10-15 MPa (1450-2175 psi)	HPSXL	ThorPlas-Azul	-
15-45 MPa (2175-6525 psi)	ThorPlas-Azul	HPSXL TRAXL	-
45-55 MPa (6525-8000 psi)	HPSXL TRAXL	-	-
En húmedo (presencia de abrasivos)			
0-3 MPa (0-500 psi)	GM2401	SXL	ThorPlas-Azul
3-10 MPa (500-1450 psi)	SXL	ThorPlas-Azul	-
10-15 MPa (1450-2175 psi)	HPSXL	ThorPlas-Azul	-
15-45 MPa (2175-6525 psi)	ThorPlas-Azul	-	-
Agua potable (en húmedo o casi en seco)			
0-3 MPa (0-500 psi)	ThorPlas-Blanco	-	-
3-10 MPa (500-1450 psi)	ThorPlas-Blanco	-	-
10-15 MPa (1450-2175 psi)	ThorPlas-Blanco	-	-
15-45 MPa (2175-6525 psi)	ThorPlas-Blanco	-	-
<p><i>Nota: Las presiones máximas indicadas para los diferentes productos se basan en las presiones dinámicas de trabajo máximas para un movimiento limitado e intermitente. Para aplicaciones en las que hay un movimiento rotatorio constante, los límites de PV de los materiales reducirán considerablemente las presiones máximas permitidas que se han indicado anteriormente.</i></p>			

Esta es una guía general para uso exclusivo como referencia técnica. Las aplicaciones críticas que se acercan a los límites de presión o temperatura o que están sometidas a entornos no estándar deben ser revisadas y aprobadas por Thordon Engineering.

GUÍA DE DISEÑO

I) PROBLEMAS Y CAUSAS DEL FALLO DEL COJINETE

	PROBLEMA	CAUSA	SOLUCIÓN
A	El cojinete se afloja en la carcasa cuando está sometido a una bajada rápida de la temperatura, aunque haya sido diseñado para funcionar a dicha temperatura.	Cuando se instala un cojinete con un ajuste de interferencia y luego se le somete a una bajada rápida de la temperatura, se contrae con mayor rapidez que la capacidad del material para recuperar su ajuste de interferencia.	Cuando existe la posibilidad de que los cojinetes Thordon estén sometidos a este tipo de «choque térmico», se deberá adherir el cojinete a la carcasa y retenerlo mecánicamente.
B	El cojinete se afloja en la carcasa cuando está sometido a períodos largos con temperaturas superiores a 60 °C (140 °F) en el caso de XL, SXL, COMPAC y RiverTough/Composite (GM2401).	El material ha reducido el esfuerzo por sí mismo y ya no hay un ajuste de interferencia adecuado. Cuando se reduzca la temperatura, el cojinete se contraerá y se aflojará dentro de la carcasa.	Se debe adherir el cojinete a la carcasa y retenerlo mecánicamente.
C	El cojinete «camina» o se mueve axialmente hacia fuera de la carcasa.	Esto suele ocurrir cuando la presión a lo largo del cojinete no es uniforme ni cíclica y el componente de las fuerzas genera una carga axial.	Asegúrese de que el cojinete está retenido axialmente con un aro de seguridad, está introducido en la carcasa o está adherido a la carcasa.
D	El cojinete se adhiere al eje provocando una fusión por contacto.	No se ha dejado distancia suficiente o el valor combinado de PVT es demasiado alto.	Compruebe que se ha calculado la distancia correcta teniendo en cuenta la distancia de funcionamiento, la absorción de agua y la dilatación térmica, si procede. Asegúrese también de que hay la tolerancia correcta de cierre de calibre para cojinetes instalados con ajuste de interferencia. Compruebe los requisitos de PVT para saber si se necesita un lubricante o refrigerante auxiliares.
E	El cojinete lubricado con agua se limpia y adquiere un aspecto esmerilado que cubre todo el diámetro interior o solo la zona con carga. El cojinete puede tener un aspecto agrietado.	El cojinete ha estado funcionando en agua a temperaturas elevadas, por ejemplo, superiores a 60 °C (140 °F) o con vapor. El cojinete ha fallado debido a la hidrólisis, provocando que el material se ablande o se agriete	Purgue el cojinete con agua fría y no utilice vapor para limpiarlo o purgarlo.
F	El material del cojinete se separa como si se hubiera deslaminado. La separación se produce a la mitad del espesor de la pared.	La acumulación de calor interno por impacto de alta frecuencia y de gran carga ha provocado que el material falle debido a la histéresis.	Hay que reducir el espesor de la pared del cojinete para limitar la deflexión y reducir el tiempo de recuperación entre impactos. Revise los gráficos de PVT de Thordon.
G	El cojinete muestra signos de haberse ablandado. Abombamientos en los extremos del cojinete o flujos de material por las ranuras.	El cojinete no está suficientemente lubricado como para mantenerse frío. La generación de calor por fricción es mayor que el calor que puede disiparse a través del lubricante.	Mejore el flujo de lubricación: <ul style="list-style-type: none"> • en el caso de los cojinetes lubricados con agua, asegúrese de que el flujo es adecuado y el agua está fría. • para otras lubricaciones, asegúrese de que hay suficiente lubricante y de que las instalaciones son adecuadas para mantenerlo frío.
H	Un cojinete bien lubricado se desgasta rápidamente y muestra signos de fusión.	El cojinete está sobrecargado.	Compruebe la carga que soporta el cojinete con relación a los límites de presión de Thordon Bearings que se indican en la figura 20.
I	Un cojinete lubricado con agua se desgasta más rápidamente de lo previsto y el revestimiento del eje está cubierto de un recubrimiento blanco.	El polvo blanco es caliza catódica que puede depositarse en el revestimiento del eje cuando el sistema de protección catódica de la embarcación es más resistente de lo necesario.	Retire el revestimiento del eje y reduzca el nivel de protección catódica. Si una embarcación permanece mucho tiempo en un puerto, infórmese sobre la protección catódica del muelle, que puede estar agravando el problema.
J	El cojinete de un eje de hélice lubricado con agua se desgasta prematuramente tras unas pocas horas de funcionamiento.	Crecimiento de vida marina en el eje.	Si una embarcación no es utilizada durante periodos superiores a dos días, una buena práctica marítima consiste en girar lentamente el eje en el virador 2 revoluciones cada 1-2 días para eliminar el crecimiento de vida marina y los depósitos salinos de las superficies del gorrón. Si la temperatura del agua de mar supera los 25 °C (77 °F) se recomienda girar los ejes, como mínimo, a diario.

5) DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

- | | | |
|-------------------------------|---------------------------------------|---|
| a. Diseño según la aplicación | e. Distancia de funcionamiento | i. Uso del programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon |
| b. Interferencia | f. Tolerancia a la dilatación térmica | j. Cálculos de cojinetes tubulares con llave |
| c. Adhesión | g. Tolerancia a la absorción | k. Cojinetes de alta presión |
| d. Cierre del calibre | h. Distancia de instalación mínima | l. Cojinetes para bomba vertical: Arranque en seco |

a) DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

Las dimensiones finales de un cojinete Thordon dependerán de cómo va a ser ajustado. La selección del mejor método de ajuste es muy importante y depende de los requisitos de la aplicación.

Los cojinetes Thordon suelen ser ajustados mediante interferencia o mediante adhesión. En algunas aplicaciones, se utilizan tiras de seguridad mecánicas o llaves como ayuda para los ajustes de interferencia. Si un cojinete va a ser ajustado a presión, entonces hay que tener en cuenta la interferencia y el cierre de calibre en los cálculos, así como la distancia de funcionamiento, la absorción de agua y las tolerancias térmicas. Sin embargo, si se va a adherir a una carcasa, entonces solo se deben considerar los tres últimos factores mencionados.

Thordon Bearings ha desarrollado un programa informático para calcular las dimensiones de los cojinetes Thordon. Este programa simplifica mucho el proceso de dimensionado. El método preferido para calcular las dimensiones de los cojinetes Thordon es el Programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon.

Las explicaciones que se ofrecen a continuación sirven principalmente para comprender mejor los parámetros de cálculo.

Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Tamaño y tolerancia de la carcasa
- Diámetro y tolerancias del eje
- Longitud del cojinete
- Temperaturas de funcionamiento
- Temperatura del taller en que se ubica la máquina
- Tipo de lubricación
- Método de retención

b) INTERFERENCIA

Una de las diferencias básicas e importantes entre los cojinetes Thordon y otros cojinetes es que Thordon requiere más interferencia. Esto se debe a la naturaleza del material. La mayor interferencia no provoca ningún problema importante pero debe tenerse en cuenta para asegurarse de que los cojinetes Thordon cuentan con la retención adecuada en sus carcasas.

Los cojinetes elastoméricos Thordon se contraen en su diámetro exterior e interior a medida que baja la temperatura. Debido al alto coeficiente de dilatación (o contracción) térmica —en comparación con el metal—, es necesario tener en cuenta este factor cuando el entorno operativo cae por debajo de la temperatura ambiente. A efectos del cálculo, suponemos que la temperatura ambiente (del taller) es de 21 °C (70 °F). El programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon calcula las dimensiones a una temperatura ambiente de 21 °C (70 °F) y, posteriormente, ofrece ajustes en las dimensiones para adecuarse a la temperatura ambiente real del taller en el momento del mecanizado.

En los gráficos de interferencia de la carcasa (figuras 21 y 22) se ha calculado la interferencia necesaria bajo temperaturas frías para el XL y el SXL en incrementos de 10 °C para los tamaños métricos y de 20 °F para los tamaños imperiales, con temperaturas inferiores a la temperatura ambiente del taller.

Los cojinetes Thordon instalados mediante ajuste de interferencia también pueden instalarse mediante ajuste a presión o ajuste por congelación. Un bisel de entrada en el cojinete y/o una esquina redondeada en la carcasa facilitarán el ajuste a presión.

La fuerza de presión del cojinete puede calcularse de la siguiente manera:

Fuerza de presión (kg) =

$$\frac{\text{Interferencia (mm)} \times \text{espesor de la pared (mm)} \times \text{longitud (mm)} \times 85}{\text{Calibre de la carcasa (mm)}}$$

Fuerza de presión (N) =

$$\frac{\text{Interferencia (mm)} \times \text{espesor de la pared (mm)} \times \text{longitud (mm)} \times 850}{\text{Calibre de la carcasa (mm)}}$$

Fuerza de presión (lb) =

$$\frac{\text{Interferencia (in)} \times \text{espesor de la pared (in)} \times \text{longitud (in)} \times 120000}{\text{Calibre de la carcasa (mm)}}$$

NOTA: Para estos cálculos, se ha aplicado un coeficiente de fricción de 0,3 y un módulo de elasticidad nominal con el fin de adecuarse a todas las calidades de cojinetes elastoméricos poliméricos Thordon.

DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

Cuando un cojinete Thordon es ajustado por congelación, la elección de un agente refrigerante adecuado depende de la temperatura diferencial para la cual se ha diseñado el ajuste de interferencia del cojinete. (La temperatura diferencial es la diferencia entre la temperatura ambiente del taller y la temperatura más fría a la cual se verá expuesto el cojinete instalado durante su funcionamiento). Si la temperatura diferencial es de 40 °C (100 °F) o menor, entonces se puede utilizar hielo seco. Si la temperatura diferencial es superior a 40 °C (100 °F), se recomienda utilizar nitrógeno líquido. La cantidad de contracción que se puede prever puede calcularse utilizando la siguiente información:

- Cada 10 °C de descenso de temperatura provocarán en el diámetro una disminución aproximada de 0,0014 mm/mm de diámetro.
- Cada 10 °F de descenso de temperatura provocarán en el diámetro una disminución aproximada de 0,0008 in/in de diámetro.
- Al retirar de la carcasa un cojinete ajustado por interferencia, este recuperará parte de su deflexión total casi inmediatamente y luego recuperará lentamente el equilibrio de la interferencia, a excepción de la parte de deformación permanente. En las pruebas, la recuperación basada en la interferencia estándar supera el 90% de la deflexión inicial en un periodo de varias semanas.

NOTA: No se recomienda el ajuste de interferencia para Thordon HPSXL. Este material debe ser adherido.

FIGURA 21 - INTERFERENCIA DE LA CARCASA: COJINETES XL
Métrico

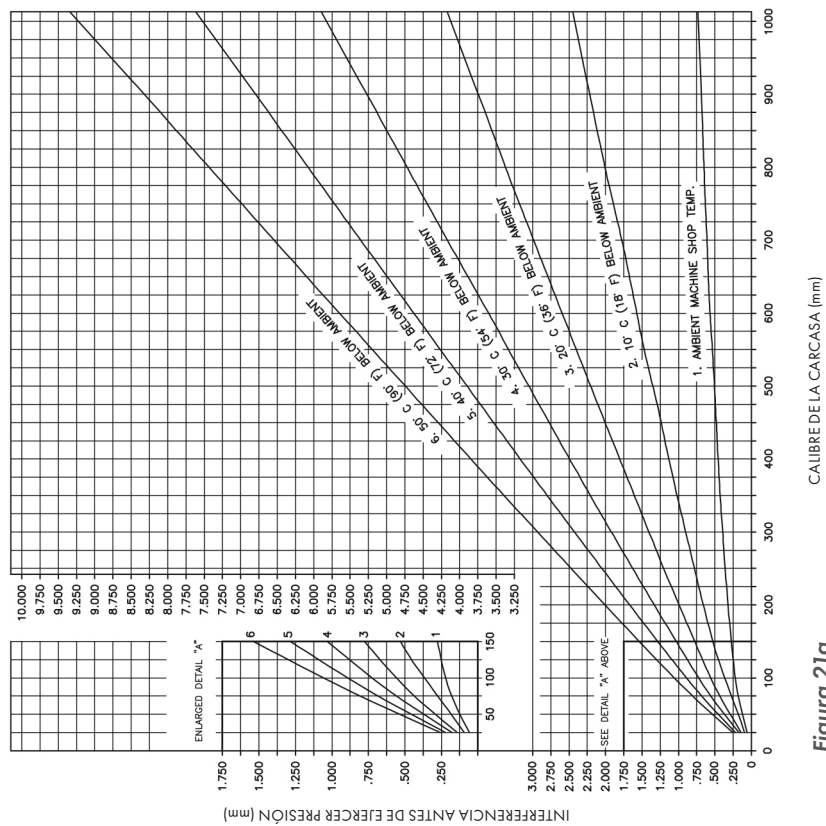


Figura 21a

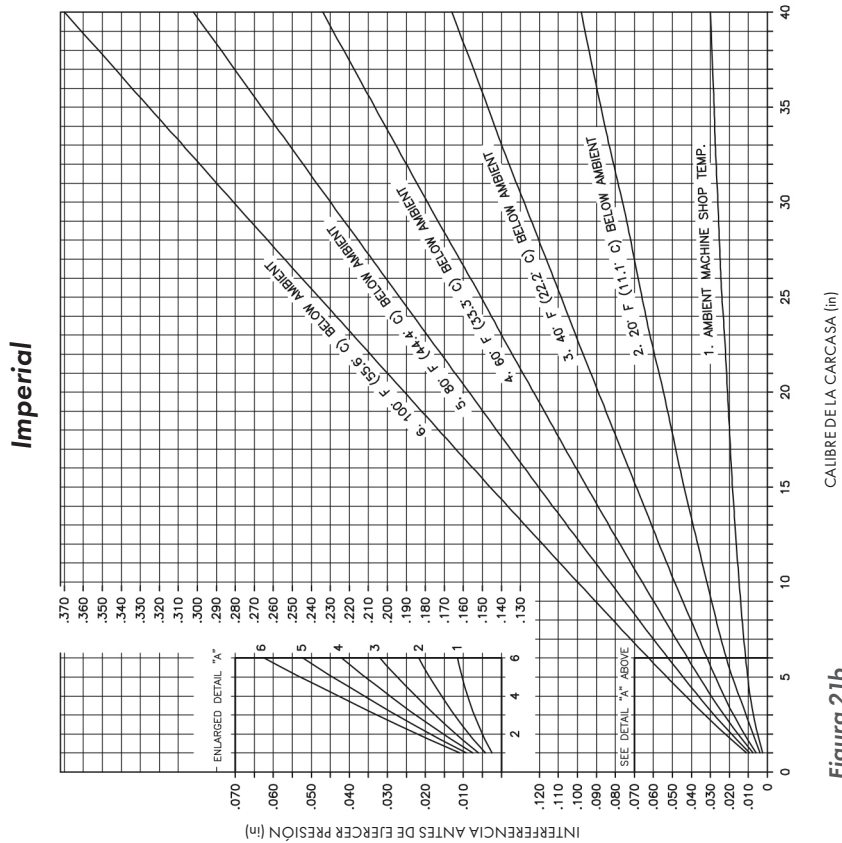


Figura 21b

NOTA: Estas pruebas se han realizado utilizando un cojinete con un factor de forma de 4.

FIGURA 22 - INTERFERENCIA DE LA CARCASA: COJINETES SXL

Métrico

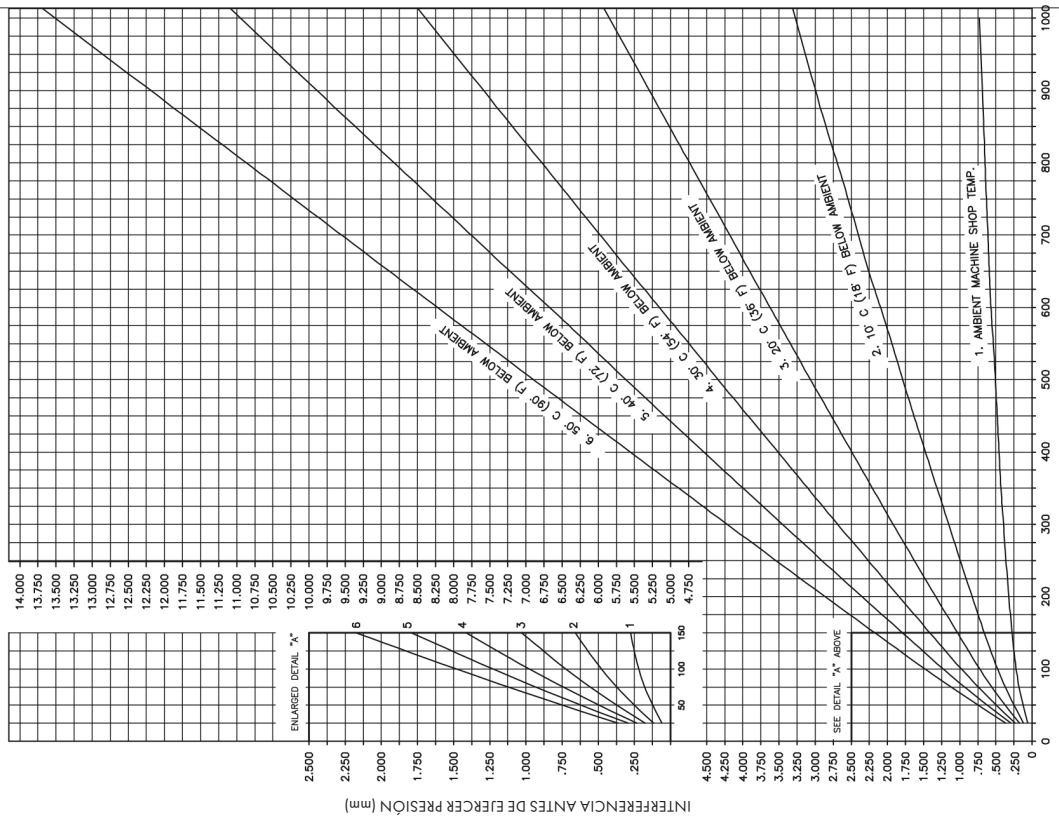


Figura 22a

Imperial

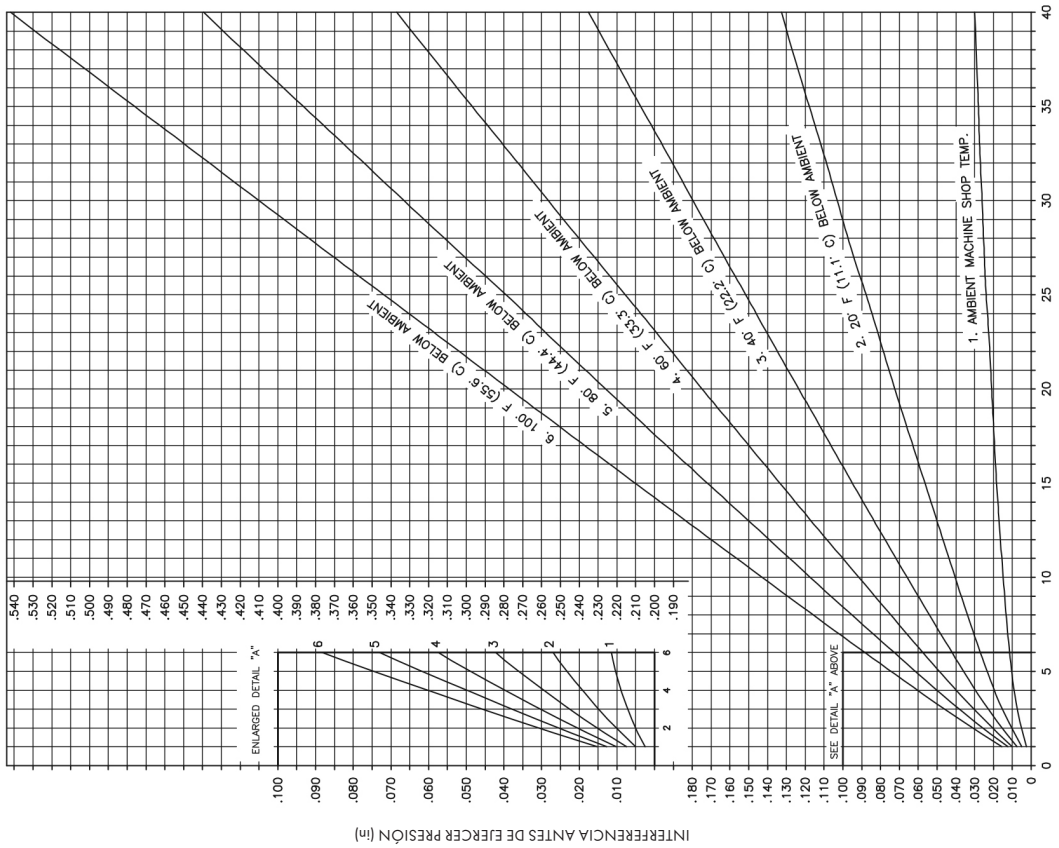


Figura 22b

DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

c) ADHESIÓN

Tal y como se indica en la sección 4(i)-iii, la adhesión es una alternativa al ajuste de interferencia. El ajuste de interferencia no se aplica cuando los cojinetes están adheridos. El D.E. del cojinete debe ser el diámetro de la carcasa menos una tolerancia para el espesor del agente adhesivo. El programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon proporciona cálculos dimensionales detallados para los cojinetes ajustados por adhesión.

Para obtener buenos resultados, hay que seguir los procedimientos de adhesión utilizando adhesivos aprobados por Thordon, tal y como se indica en la sección 7.

d) CIERRE DEL CALIBRE

Cuando se instala un cojinete Thordon con un ajuste de interferencia, el diámetro interior se reduce debido al desplazamiento volumétrico. El valor real del cierre de calibre varía en función del acabado superficial del diámetro exterior del cojinete y del diámetro interior de la carcasa.

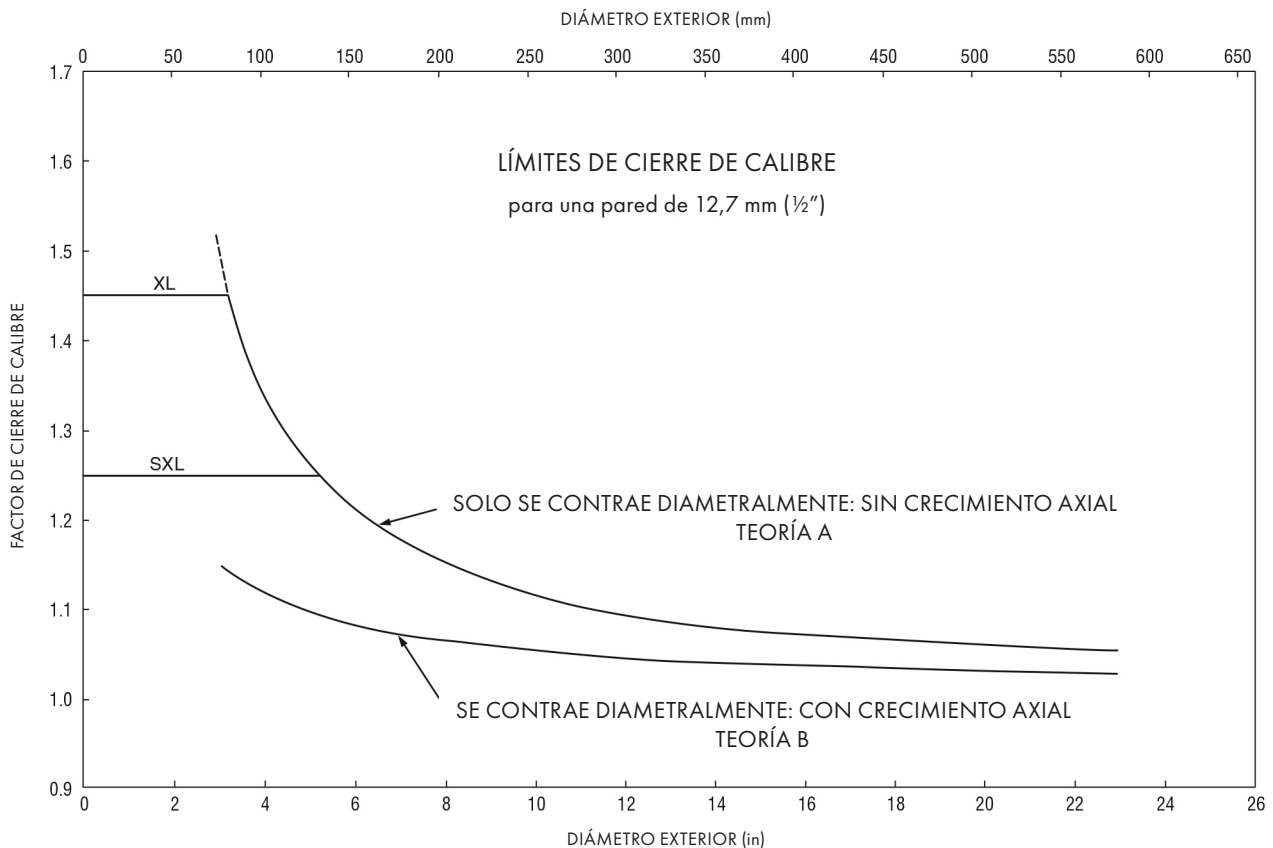
Ambos pueden afectar a la compresión axial. También depende del coeficiente de fricción del material del cojinete. Thordon Bearings Inc. ha estudiado a fondo dos teorías sobre el cierre de calibre.

La Teoría A no tiene en cuenta el movimiento axial en los cálculos (limitados) y la Teoría B sí lo tiene en cuenta. La figura 23 muestra los resultados típicos de la prueba. Para dimensionar los cojinetes Thordon, se ha elegido la Teoría A como la forma más segura de calcular el cierre del calibre porque ofrece una mayor distancia u holgura de funcionamiento.

Los resultados sobre el terreno son mixtos, y la mayoría se acercan a la Teoría A. Las figuras 24a y 24b reflejan la Teoría A con un factor máximo de cierre del calibre de 1,45 para Thordon XL y RiverTough/Composite y de 1,25 para Thordon SXL y COMPAC. Si es necesario, las pruebas reales en una aplicación determinada pueden ofrecer cifras más precisas. El programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon también emplea la Teoría A para calcular el cierre de calibre. Se multiplica el factor del cierre de calibre, que se determina a partir de las figuras 24a o 24b, por la interferencia media (interferencia mínima más el 50% de la tolerancia de la carcasa y el 50% de la tolerancia de mecanizado en el D.E. del cojinete) para obtener la tolerancia del cierre de calibre.

El cierre de calibre se expresa como un factor que se aplica a la interferencia media. Se añade al D.I. del cojinete.

FIGURA 23 - RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CIERRE DE CALIBRE DE THORDON



DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

FIGURA 24 - FACTOR DE CIERRE DE CALIBRE PARA VARIOS ESPESORES DE PARED

Métrico

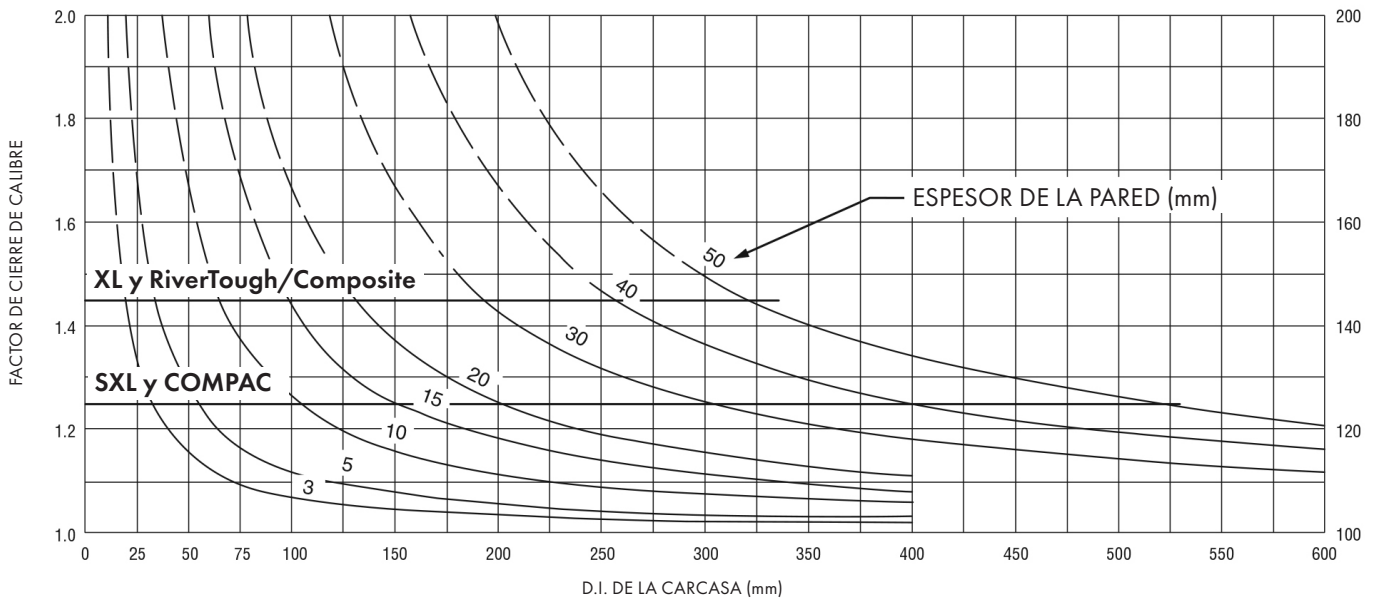


Figura 24a

Imperial

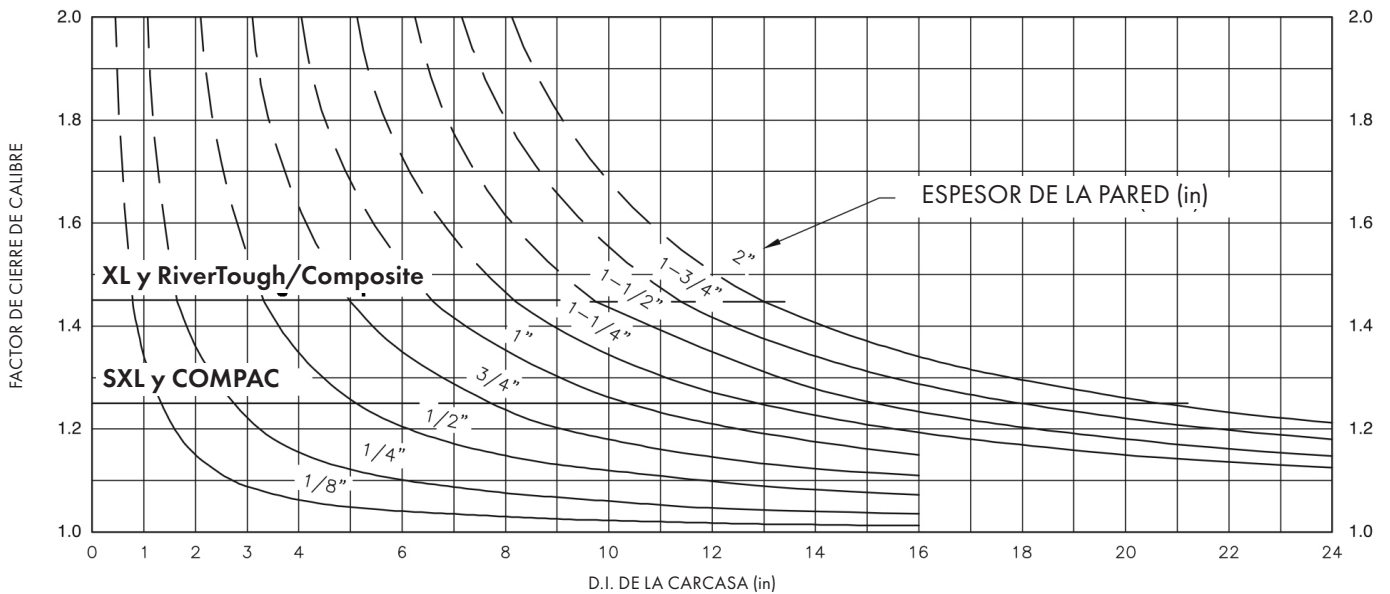


Figura 24b

Nota: Se ha limitado el uso de este gráfico a un factor de cierre de calibre máximo de 1,25 para SXL y COMPAC, y de un máximo de 1,45 para XL y RiverTough/Composite.

DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

FIGURA 25 - DISTANCIA DE FUNCIONAMIENTO MÍNIMA PARA COJINETES THORDON CON RELACIÓN AL DIÁMETRO DEL EJE

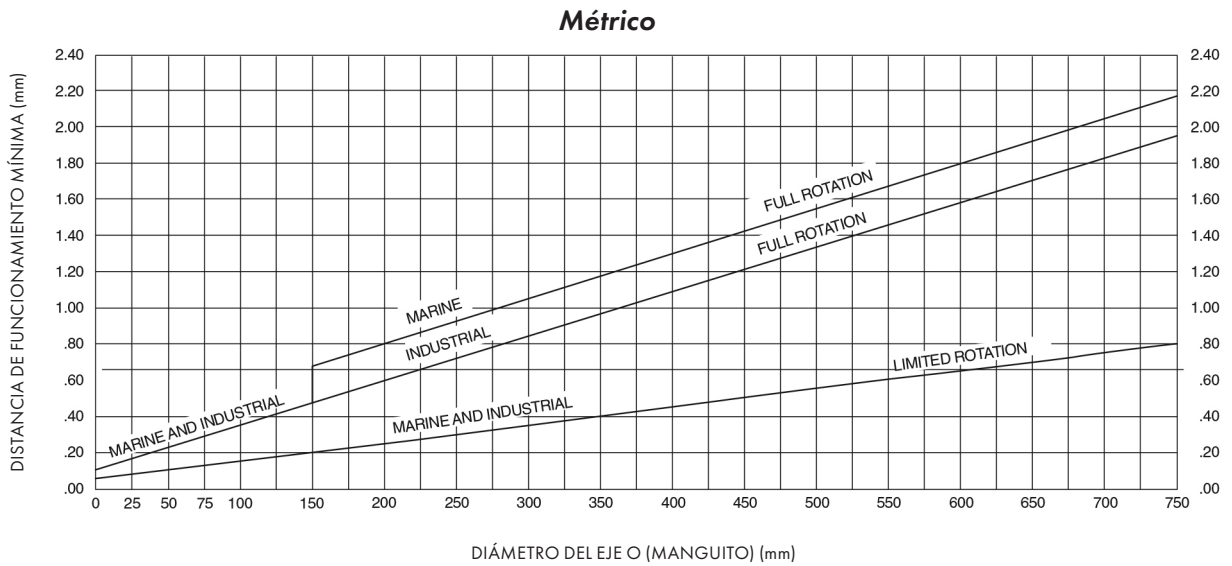


Figura 25a

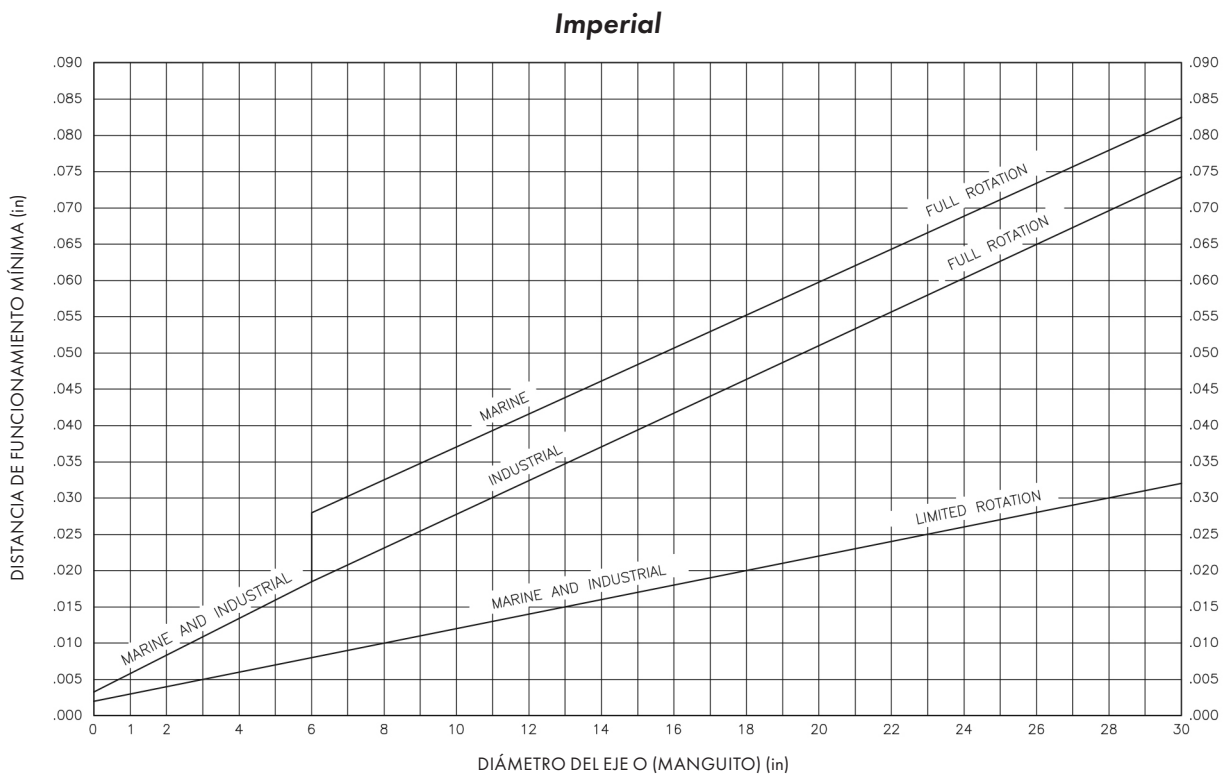


Figura 25b

Nota: Las holguras o distancias de cojinete pequeñas reflejan los estándares del sector. A los cojinetes marinos de mayor tamaño, de 150 mm (6") o más, se les da una mayor distancia para reflejar los requisitos de las sociedades de clasificación.

Nota: Cuando proceda, se deben aplicar tolerancias adicionales para el aumento del agua y la dilatación térmica. Consulte los pasos 5/6 de los procedimientos de cálculo.

e) DISTANCIA DE FUNCIONAMIENTO

Las distancias u holguras de funcionamiento recomendadas para los cojinetes Thordon —y para los demás materiales no metálicos— suelen ser más generosas que las especificadas para cojinetes metálicos.

La distancia de funcionamiento es necesaria para crear una película de lubricante líquido óptima. También incluye un margen de seguridad para tener en cuenta la reducción del calibre debido al calor por fricción que se genera en el cojinete durante su funcionamiento. Las Figuras 25a y 25b muestran los requisitos de distancia de funcionamiento diametral para aplicaciones industriales y marinas.

La distancia de funcionamiento diametral es la diferencia total —en cuanto a dimensión— entre el diámetro interior final de instalación del cojinete después de tener en cuenta los efectos de la temperatura y la absorción del agua, y el diámetro exterior del eje.

En aplicaciones con movimiento oscilante, donde no es tan probable que se acumule calor, se pueden reducir las distancias de funcionamiento tal y como se muestra en las figuras 25a y 25b.

Unas distancias de funcionamiento inadecuadas provocan fallos en los cojinetes, a saber, un diámetro interior «impregnado» o «borrado».



Ejemplo típico de un cojinete borrado.

NOTA 1: En algunas configuraciones de cojinete en las que no hay una carga unidireccional, como en las bombas verticales y las turbinas hidráulicas verticales, es posible tener distancias de funcionamiento reducidas. En estas configuraciones, se pueden diseñar cojinetes con distancias de funcionamiento de entre el 0,075% y el 0,1% del diámetro del eje. Se pueden diseñar cojinetes con distancias de funcionamiento más pequeñas. Póngase en contacto con Thordon Bearings para recibir información más detallada al respecto.

f) TOLERANCIA A LA DILATACIÓN TÉRMICA

La tolerancia a la dilatación térmica (C_t) es una holgura adicional que debe tenerse en cuenta cuando el cojinete va a funcionar a temperaturas superiores a la temperatura ambiente (taller en el que se ubica la máquina). La C_t diametral se calcula basándose en el coeficiente de dilatación térmica de Thordon y empleando la siguiente fórmula.

$$C_t \text{ (diametral)} = 2 \text{ E.P.} \times (T_o - T_a)$$

α = coeficiente de dilatación térmica para Thordon según se indica a continuación:

Para un rango de temperatura de 0 °C a 30 °C (32 °F a 86 °F)

XL y RiverTough/Composite:

$$\alpha = 0.000148 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (} 0.000082 \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}\text{)}$$

SXL y COMPAC:

$$\alpha = 0.000151 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (} 0.000084 \text{ } ^\circ\text{F}^{-1}\text{)}$$

NOTA: La explicación de los símbolos utilizados se encuentra en la cara interior de la portada.

Esta distancia (C_t) se añade a la distancia de funcionamiento mínima, según se desprende de las figuras 25a o 25b.

En aplicaciones en las que el cojinete está retenido axialmente y funciona a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, hay que deducir una tolerancia a la dilatación térmica teniendo en cuenta la longitud del cojinete para dejar espacio para la dilatación axial antes de entrar en contacto con los retenedores: La tolerancia a la dilatación térmica axial se calcula aplicando la siguiente fórmula.

$$C_t \text{ (axial)} = L \times \alpha \times (T_o - T_a)$$

NOTA 1: Si no se proporciona suficiente holgura o distancia para la dilatación térmica axial, el cojinete se dilatará de todas formas. Desplazará los retenedores o, en lugar de dilatarse axialmente, se dilatará más diametralmente, reduciendo su distancia de funcionamiento. Esto puede provocar el fallo del cojinete.

DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

g) TOLERANCIA A LA ABSORCIÓN

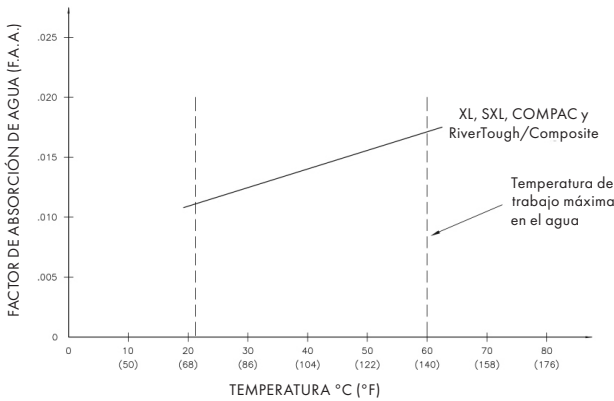
Thordon suele absorber líquido a un ritmo del 1,3% por volumen aunque, con líquidos más calientes, la dilatación por volumen puede alcanzar el 2%. A pesar de que esta dilatación es considerablemente menor que la de la mayoría del resto de productos no metálicos, debe tenerse en cuenta porque provoca una reducción del calibre así como un ligero aumento del ajuste de interferencia.

El efecto diametral (cierre del calibre) de la tolerancia a la absorción (C_s) se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$C_s \text{ (diametral)} = \text{F.A.A.} \times \text{E.P.}$$

donde F.A.A. es el factor de absorción de agua que se desprende de la figura 26 para la temperatura de trabajo máxima aproximada. E.P. es el espesor de pared.

FIGURA 26 - FACTOR DE ABSORCIÓN DE AGUA (F.A.A.) PARA VARIAS TEMPERATURAS DEL AGUA



DATOS DEL GRÁFICO BASADOS EN PRUEBAS A 21 °C (70 °F) y 60 °C (140 °F)

Por ejemplo, si la temperatura de trabajo más alta es de 21 °C (70 °F), el F.A.A. es 0,011. Esta distancia se añade a la distancia de funcionamiento mínima obtenida a partir de las figuras 25a o 25b.

En aplicaciones en las que el cojinete funciona en un líquido y está retenido axialmente, hay que deducir una tolerancia a la absorción axial teniendo en cuenta la longitud del cojinete mecanizado para dejar espacio para la dilatación axial antes de entrar en contacto con los retenedores.

La tolerancia a la absorción axial para un cojinete con ajuste de interferencia se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$C_s \text{ (axial)} = ,005 \times \text{longitud del cojinete}$$

NOTA: Si no se proporciona suficiente distancia para la absorción axial, el cojinete se dilatará de todas formas, desplazando los retenedores o, en lugar de dilatarse axialmente, se dilatará más diametralmente, reduciendo su distancia de funcionamiento. Esto puede provocar el fallo del cojinete.

h) DISTANCIA DE INSTALACIÓN MÍNIMA

Tal y como se indica en los siguientes ejemplos, el D.I. de un cojinete se calcula añadiendo el cierre del calibre (si procede), la distancia de funcionamiento, la tolerancia a la dilatación térmica y la tolerancia a la absorción al diámetro máximo del eje. Cuando se ajusta el cojinete en la carcasa, se produce el cierre de calibre (si procede) así que la tolerancia no es un factor. Lo que queda es la distancia de funcionamiento, la tolerancia a la dilatación térmica y la tolerancia a la absorción. La suma de estos tres factores es lo que se conoce como «distancia de instalación mínima». Esta se indica claramente en los cálculos dimensionales de los cojinetes Thordon. Cuando el cojinete está funcionando, desaparece la tolerancia a la dilatación térmica al alcanzarse la temperatura de trabajo máxima y la tolerancia a la absorción desaparecerá a medida que el cojinete absorbe el líquido lubricante. La distancia de funcionamiento será la única distancia u holgura que quede.

La distancia de instalación mínima se emplea como comprobación final importante antes de que el cojinete comience a funcionar. Si la distancia medida después del ajuste es menor que la distancia de instalación mínima, hay una alta probabilidad de que el cojinete falle. Hay que prever el problema antes de que el cojinete comience a funcionar.

i) USO DEL PROGRAMA DE CÁLCULO DIMENSIONAL DE COJINETES THORDON

Hay un programa informático para calcular las dimensiones de los cojinetes Thordon. Tiene en cuenta todos los factores cubiertos en la sección del Diseño según la aplicación de este manual y simplifica mucho el proceso de cálculo.

Puede solicitarlo a su distribuidor de productos Thordon o a Thordon Bearings Inc.

La fiabilidad del programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon solo depende de la información que se introduce. Hay que asegurarse de que todos los datos introducidos son correctos. Este programa es el resultado de más de 30 años de trabajo con cálculos informáticos de las dimensiones de los productos Thordon.

El programa incluye pantallas de ayuda detallada en las que puede encontrar respuesta a las dudas que tenga sobre un tema concreto.

A continuación, se ofrecen ejemplos de uso del programa para calcular dimensiones típicas de cojinetes:

1. EJEMPLO DE CÁLCULO UTILIZANDO EL PROGRAMA DE CÁLCULO DIMENSIONAL DE COJINETES THORDON (APLICACIÓN: EJE DE HÉLICE MARINA)

a) EJEMPLO CON SISTEMA MÉTRICO

AJUSTE: Interferencia	MATERIAL: XL
Datos proporcionados	
1. Tipo de funcionamiento	Eje de hélice marina
2. Diámetro del eje	100 +0,00/-0,04 mm
3. Carcasa del cojinete	150 +0,04/-0,00 mm
4. Longitud de la carcasa	400 mm
5. Temp. de trabajo	Mín. -2 °C Máx. 45 °C
6. Temp. ambiente	21 °C
7. Entorno	Agua

El programa de cálculo dimensional de cojinetes ofrece los siguientes resultados:

Diámetro exterior del cojinete mecanizado:

150,96 +0,13/+0,00 mm

Diámetro interior del cojinete mecanizado:

102,28 +0,13/+0,00 mm

Distancia diametral de instalación mínima: 0,89 mm

Longitud del cojinete mecanizado:

396,26 +0,00/-0,50 mm

Espesor de la pared del cojinete: 24,34 mm

b) EJEMPLO CON SISTEMA IMPERIAL

AJUSTE: Interferencia	MATERIAL: XL
Datos proporcionados	
1. Tipo de funcionamiento	Eje de hélice marina
2. Diámetro del eje	4 +0,00/-0,002 in
3. Carcasa del cojinete	6 +0,001/-0,00 in
4. Longitud de la carcasa	16 in
5. Temp. de trabajo	Mín. 28 °F Máx. 113 °F
6. Temp. ambiente	70 °F
7. Entorno	Agua

El programa de cálculo dimensional de cojinetes ofrece los siguientes resultados:

Diámetro exterior del cojinete mecanizado:

6,038 +0,005/+0,00 in

Diámetro interior del cojinete mecanizado:

4,091 +0,005+0,00 in

Distancia diametral de instalación mínima: 0,035 in

Longitud del cojinete mecanizado:

15,850 +0,00/-0,020 in

Espesor de la pared del cojinete: 0,974 in.

El programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon puede utilizarse para realizar los siguientes cálculos de forma rápida y con precisión. El programa ofrecerá dimensiones de mecanizado para el D.E. del cojinete, ya sea con ajuste de interferencia o ajuste por adhesión. Para el D.I. del cojinete mecanizado, realice el cálculo correspondiente con un ajuste de interferencia o un ajuste por adhesión y, posteriormente, añada la «distancia de instalación mínima».

DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

2. EJEMPLO DE CÁLCULO UTILIZANDO EL PROGRAMA DE CÁLCULO DIMENSIONAL DE COJINETES THORDON (APLICACIÓN: BOMBA VERTICAL INDUSTRIAL)

a) EJEMPLO CON SISTEMA MÉTRICO:

Cojinete mecanizado después de ajuste en la carcasa

AJUSTE: ajuste de interferencia, mecanizado después de ajuste en carcasa

MATERIAL: SXL

Datos proporcionados

1. Tipo de funcionamiento	Bomba vertical ind.
2. Diámetro del eje	100 +0,00/-0,04 mm
3. Carcasa del cojinete	150 +0,03/-0,00 mm
4. Longitud de la carcasa	200 mm
5. Temp. de trabajo	Mín. -2 °C Máx. 30 °C
6. Temp. ambiente	21 °C
7. Entorno	Agua

El programa de cálculo dimensional de cojinetes ofrece los siguientes resultados:

Diámetro exterior del cojinete mecanizado:
151,03 +0,13/+0,00 mm

Diámetro interior del cojinete mecanizado:
101,85 +0,13/+0,00 mm

Distancia diametral de instalación mínima: 0,53 mm

Longitud del cojinete mecanizado:
198,62 +0,00/-0,50 mm

Espesor de la pared del cojinete: 24,59 mm

Paso 1: el D.E. del cojinete se mecaniza a 151,03 mm según el programa de cálculo dimensional de cojinetes.

Paso 2: ajuste el cojinete en la carcasa.

Paso 3: mecanice el D.I. del cojinete al diámetro máximo del eje más la distancia de instalación mínima
 $= 100 + 0,53 = 100,53$ mm

(El programa de cálculo dimensional de cojinetes calculará la distancia de instalación mínima. La diferencia entre el valor del paso 3 y el cojinete mecanizado es el cierre de calibre.)

Cuando se realiza el mecanizado final del calibre del cojinete después de instalarlo en la carcasa, hay que tener cuidado porque, con este método, se elimina material tensionado que está provocando el «agarre» del cojinete dentro de la carcasa. Se debe retirar la menor cantidad posible de material.

En los cojinetes no ranurados, esta fase de mecanizado no debe eliminar más del 5% del espesor de la pared.

En los cojinetes ranurados, no es tan relevante porque el material del calibre soporta mucho menos esfuerzo pero el mecanizado debe limitarse al 10% del espesor de la pared o al 25% de la profundidad de la ranura, el que sea menor.

Las ranuras de lubricación siempre deben mecanizarse antes de ajustar el cojinete dentro de la carcasa.

b) IMPERIAL EXAMPLE:

Cojinete mecanizado después de ajuste en la carcasa

AJUSTE: ajuste de interferencia, mecanizado después de ajuste en carcasa

MATERIAL: SXL

Datos proporcionados

1. Tipo de funcionamiento	Bomba vertical ind.
2. Diámetro del eje	4 +0,00/-0,002 in
3. Carcasa del cojinete	6 +0,001/-0,00 in
4. Longitud de la carcasa	8 in
5. Temp. de trabajo	Mín. 28 °F Máx. 86 °F
6. Temp. ambiente	70 °F
7. Entorno	Agua

El programa de cálculo dimensional de cojinetes ofrece los siguientes resultados:

Diámetro exterior del cojinete mecanizado:
6,041 +0,005/+0,00 in

Diámetro interior del cojinete mecanizado:
4,074 +0,005/+0,00 in

Distancia diametral de instalación mínima: 0.021" in

Longitud del cojinete mecanizado:
7,945 +0,00/-0,020 in

Espesor de la pared del cojinete: 0,983 in

Paso 1: el D.E. del cojinete se mecaniza a 6,041 in según el programa de cálculo dimensional de cojinetes.

Paso 2: ajuste el cojinete en la carcasa.

Paso 3: mecanice el D.I. del cojinete al diámetro máximo del eje más la distancia de instalación mínima
 $= 4 + 0,021 = 4,021$ in

(El programa de cálculo dimensional de cojinetes calculará la distancia de instalación mínima. La diferencia entre el valor del paso 3 y el cojinete mecanizado es el cierre de calibre.)

Cuando se realiza el mecanizado final del calibre del cojinete después de instalarlo en la carcasa, hay que tener cuidado porque, con este método, se elimina material tensionado que está provocando el «agarre» del cojinete dentro de la carcasa. Se debe retirar la menor cantidad posible de material.

En los cojinetes no ranurados, esta fase de mecanizado no debe eliminar más del 5% del espesor de la pared.

En los cojinetes ranurados, no es tan relevante porque el material del calibre soporta mucho menos esfuerzo pero el mecanizado debe limitarse al 10% del espesor de la pared o al 25% de la profundidad de la ranura, el que sea menor.

Las ranuras de lubricación siempre deben mecanizarse antes de que el cojinete sea encajado dentro de la carcasa.

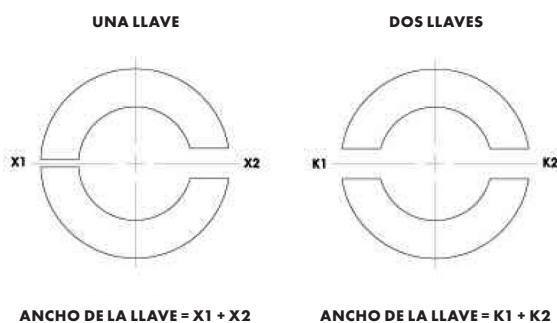
j) CÁLCULOS DE COJINETES TUBULARES CON LLAVE

Los cojinetes Thordon suelen instalarse con ajuste de interferencia y con uno o dos juegos de llaves de bloqueo.

Para determinar el tamaño los cojinetes Thordon y los anchos de los huecos de separación con el fin de obtener la interferencia correcta para una aplicación con cojinete con llave, hay que seguir estos pasos.

1. Calcular las dimensiones del cojinete basándose en un tubo normal y en un ajuste de interferencia. Los cálculos pueden realizarse utilizando el programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon.
2. Mecanice el cojinete según las dimensiones calculadas.
3. Mida la anchura circunferencial de la llave o llaves y mida o aproxímesese al ancho del corte en el lado opuesto a la llave si solo se utiliza una llave. Véase la figura 27

FIGURA 27 - MEDICIÓN DEL ANCHO DE LA LLAVE



4. Haga la ranura o ranuras en el cojinete para que la anchura total del material retirado sea igual a la anchura de las llaves o conjunto de llaves. Asegúrese de que la interferencia circunferencial combinada del cojinete y la llave o llaves es la misma que en el caso de un cojinete no dividido.
5. Si se coloca más de una llave o conjunto de llaves, el cojinete debe ranurarse en consonancia, las ranuras deben estar bien ubicadas para adecuarse a las llaves y el material retirado en cada ranura debe ser igual a la anchura de las llaves correspondientes.

Nota: Hay que hacer lo mismo cuando se trabaja con un cojinete dividido que se ajustará con interferencia y sin llaves. Es importante mantener la circunferencia después de realizar la separación o división. Para ello, lo más sencillo es mecanizar el cojinete completamente como un tubo y después, dividirlo. Utilice el programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon para calcular las dimensiones del cojinete como si no estuviera dividido. A continuación, añada al D.E. y al D.I. el efecto circunferencial del espesor de los cortes de división – espesor total de los cortes/π.

k) COJINETES DE ALTA PRESIÓN

Thordon dispone de dos calidades para aplicaciones con cojinetes de alta presión. La primera es ThorPlas, un material homogéneo no elastomérico. En otro manual se ofrece información detallada sobre ThorPlas. La otra calidad de cojinete de alta presión es Thordon HPSXL TRAXL, que se especifica en muchas aplicaciones industriales y marinas. Los cojinetes HPSXL TRAXL son idóneos para aplicaciones en las que las cargas son elevadas y no se emplea lubricación convencional.

Entre las aplicaciones habituales destacan los acoplamientos y compuertas de turbinas hidráulicas, soportes para compuertas de esclusa, rodillos de popa, grúas y pivotes de equipos de construcción.

Los cojinetes Thordon HPSXL TRAXL son un diseño compuesto que consiste en una fina capa de Thordon HPSXL adherido a una estructura envolvente metálica.

Según se indica en la sección I) Proceso de selección de material de la Guía de diseño, con los cojinetes HPSXL TRAXL se pueden lograr presiones operativas de hasta 55,0 MPa (8.000 psi) con presiones estáticas pico permitidas de hasta 70,0 MPa (10.000 psi) o mayores.

Estas presiones se obtienen gracias a la combinación de varios factores. Las aplicaciones son oscilantes o de funcionamiento a velocidades muy bajas así que la acumulación de calor por fricción no es elemento de consideración.

El cojinete se diseña con un factor de forma muy elevado (generalmente, superior a 100). Esto significa que la pared del cojinete es muy fina (normalmente, 1,5 mm (0,060”) o menos).

Se obtienen resultados de alta presión óptimos con Thordon HPSXL TRAXL, en el que el HPSXL está directamente adherido a una estructura envolvente metálica especialmente ranurada. Este cojinete, que cuenta con el HPSXL como superficie de desgaste, es posteriormente ajustado a presión en la carcasa del cojinete. Para aplicaciones con presión más baja, se puede adherir en frío un tubo Thordon de pared fina a una estructura envolvente. En la figura 28 se muestra el rango de presión para cada método.

FIGURA 28 - RANGO DE PRESIÓN PARA DIFERENTES MÉTODOS DE FABRICACIÓN

Método de fabricación	Presión			
	Funcionamiento normal		Estática pico	
	MPa	psi	MPa	psi
TRAXL	27,5 - 55,0	4.000 - 8.000	70,0	10.000
Adhesión en frío	13,7 - 20,6	2.000 - 3.000	27,5	4.000

NOTA: Se pueden diseñar cojinetes Thordon para que funcionen a presiones más elevadas para aplicaciones específicas. Póngase en contacto con Thordon Bearings para recibir información más detallada al respecto.

DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

El proceso de adhesión en frío se utiliza cuando la aplicación requiere una combinación de capacidad para presión relativamente alta y un mayor espesor de pared (superior a 1,5 mm o 0,060"). Sin embargo, la presión se reduce a medida que aumenta el espesor de la pared debido a la disminución del factor de forma.

Se pueden obtener distancias de funcionamiento mucho más cortas con los cojinetes HPSXL TRAXL que con los cojinetes de deslizamiento Thordon. Hay varios factores que contribuyen a ello:

1. Todo el mecanizado se realiza después de adherir el material Thordon a la estructura envolvente del cojinete. Por tanto, se reduce la acumulación de tolerancia.
2. Debido a la estructura envolvente metálica rígida y al apoyo que esta le proporciona al HPSXL, tanto el diámetro exterior como el interior pueden mecanizarse para tolerancias más estrechas.
3. La distancia de funcionamiento de diseño disminuye porque la rotación es limitada (la acumulación de calor por fricción no supone un problema). Asimismo, debido al poco espesor de la pared, las tolerancias de dilatación térmica y absorción no son importantes.

Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros para diseñar un cojinete de alta presión Thordon:

- Interferencia
- Cierre del calibre
- Distancia de funcionamiento
- Dimensiones del eje y la carcasa
- Tolerancias y dimensiones del cojinete

NOTA 1: Normalmente se supone que la tolerancia a la absorción y la tolerancia térmica son poco significativas porque el espesor de pared del cojinete Thordon HPSXL TRAXL suele ser de 1,5 mm (0,060") o menor. Si el HPSXL tiene un espesor superior a este, habrá que tener en cuenta la tolerancia a la absorción y la dilatación térmica.

NOTA 2: Los cálculos de los cojinetes HPSXL TRAXL son diferentes a los de los cojinetes Thordon en su forma completa porque el HPSXL relativamente fino está encajado en una estructura envolvente metálica. Algunos cálculos como la interferencia y el cierre de calibre se basan en las propiedades de la estructura envolvente metálica en lugar de en las propiedades de Thordon.

i) Interferencia:

La cantidad de interferencia entre el cojinete Thordon HPSXL TRAXL y la carcasa depende de las condiciones de funcionamiento. A medida que aumenta la presión, también debe aumentar la interferencia. El ajuste de interferencia normal recomendado va desde el 0,025% al 0,100% del diámetro exterior en función del tamaño del cojinete. Para cojinetes más grandes, disminuye el porcentaje de interferencia.

Nota: Los cojinetes HPSXL TRAXL no deben ajustarse por congelación. Existe un riesgo importante de que la congelación —con hielo seco o con nitrógeno líquido— dañe la adhesión entre el Thordon HPSXL y la estructura envolvente metálica.

ii) Cierre del calibre:

Gracias a la experiencia práctica, se sabe que el cierre de calibre en un ajuste de interferencia entre dos piezas metálicas suele estar entre el 75% y el 95% de la interferencia. Para garantizar una distancia de funcionamiento adecuada, se recomienda prever un factor de cierre de calibre de 1 a efectos del cálculo.

iii) Distancia de funcionamiento:

La distancia de funcionamiento normal recomendada es del 0,1% del diámetro del eje, recomendándose un valor mínimo de 0,075 mm (0,003").

Para aplicaciones en las que se requieren tolerancias más estrechas, póngase en contacto con su distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings Inc. para recibir más ayuda.

iv) Dimensiones del eje y la carcasa:

Para obtener la distancia de instalación operativa óptima, hay que controlar estrictamente las tolerancias no solo del cojinete sino también de la carcasa y del eje. Unas tolerancias excesivas en el calibre de la carcasa o en el eje se traducen directamente en la necesidad de una mayor distancia de funcionamiento. Si un proyecto requiere varios cojinetes, como en las compuertas, cada posición puede medirse y numerarse para poder dimensionar específicamente los cojinetes para cada posición.

v) Tolerancias y dimensiones del cojinete:

El diámetro exterior e interior de un cojinete Thordon HPSXL TRAXL se calculan de la siguiente manera:

D.E. del cojinete = diámetro de la carcasa (máximo)
+ interferencia normal

D.I. del cojinete = diámetro del eje (máximo)
+ cierre del calibre

(D.E. máximo del cojinete - diámetro mínimo de la carcasa) + distancia de funcionamiento

Las tolerancias estándar de mecanizado de los cojinetes de alta presión Thordon son:

D.E. del cojinete: +0,025 mm/-0,000 mm (+0,001"/-0,000")

D.I. del cojinete: +0,075 mm/-0,000 mm (+0,003"/-0,000")

I) COJINETES PARA BOMBA VERTICAL: ARRANQUE EN SECO

Thordon SXL y ThorPlas se utilizan mucho en bombas verticales por su capacidad para funcionar en seco durante el arranque. El tiempo que el SXL puede funcionar en seco en una bomba vertical suele ser el que exige el diseñador de la bomba para el arranque en seco. El programa de cálculo dimensional de cojinetes Thordon ajustará automáticamente las distancias u holguras cuando se selecciona una aplicación con bomba vertical y arranque en seco.

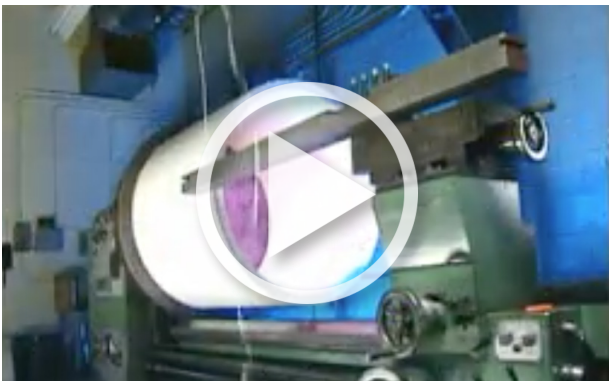
Si desea más información sobre el arranque en seco, póngase en contacto con Thordon Bearings.

6) MACHINING & MEASURING

- | | | |
|-----------------------------------|---|---|
| a. Mecanizado general | c. Mecanizado de RiverTough/Composite | e. Mediciones dimensionales y del acabado superficial |
| b. Mecanizado de XL, SXL y COMPAC | d. Fraccionamiento de cojinetes Thordon | |

a) MECANIZADO GENERAL

Thordon XL, SXL, COMPAC y RiverTough/Composite son productos poliméricos elastoméricos resistentes y duros que se pueden mecanizar fácilmente. No obstante, es necesario recordar que los elastómeros Thordon no son metálicos y deben mecanizarse de manera diferente al metal. Debido a la naturaleza elastomérica de los materiales Thordon, estos tienden a «salirse» de todo lo que ejerza presión sobre ellos, incluidas las máquinas herramienta de cualquier tipo. Los materiales elastoméricos Thordon no se pueden bruñir ni picar sino que deben cortarse con una herramienta afilada. **No se puede dejar de recalcar la importancia de las herramientas de corte afiladas para garantizar un mecanizado óptimo de los materiales elastoméricos Thordon.**



NOTA: Thordon Bearings Inc. o el distribuidor de Thordon de su zona disponen de vídeos sobre el mecanizado. Son excelentes para comprender los requisitos de mecanizado de los cojinetes Thordon.

www.youtube.com/ThordonBearings

Cuando se mecanizan cojinetes de pared fina, es importante reconocer que si se ejerce excesiva presión, se puede deformar el cojinete. En algunos casos, puede hacer falta utilizar mordazas para mandril modificadas, apoyar el tubo utilizando una araña, un tapón o un mandril, o montar el tubo utilizando tornillos para colocarlo en una placa frontal. En cuanto a los cojinetes tubulares de gran tamaño y de pared fina, se recomienda mecanizarlos sobre una mandrinadora.

Las velocidades de corte también son importantes. Las velocidades de alimentación bajas combinadas con una velocidad de rotación demasiado baja tienden a producir un corte áspero debido a la resistencia y a la naturaleza elastomérica de los materiales Thordon. Unas velocidades altas combinadas con una velocidad de alimentación baja pueden generar demasiado calor por fricción, lo que resultará en un acabado pegajoso y de mala calidad. Las combinaciones idóneas de velocidad y alimentación son similares a las que se utilizan para mecanizar el aluminio.

Las distancias u holguras, según se especifica en la sección de diseño de este manual, pueden parecer excesivas en comparación con los metales. Sin embargo, los materiales elastoméricos Thordon se dilatan con los cambios de temperatura y la inmersión en líquidos. Además, el cierre del calibre de los materiales elastoméricos Thordon se contrae a un ritmo superior al 100% de la interferencia. Esto se debe a que los materiales elastoméricos Thordon no se pueden comprimir. **La distancia de instalación mínima tiene en cuenta todos estos factores.** Asimismo, se tienen en cuenta la distancia u holgura para una película de lubricación líquida si el cojinete se lubrica con agua o aceite y la distancia de seguridad para la acumulación de calor por fricción. No debe reducir la distancia de funcionamiento recomendada sin consultarlo previamente con el distribuidor de Thordon de su zona o con Thordon Bearings Inc.

NOTA: Si no se proporciona la distancia de funcionamiento adecuada, muy probablemente el cojinete fallará.

Casi todas las operaciones que se pueden realizar con el metal —como mecanizar, taladrar, roscar, dar forma, contornear, aserrar, fresar y adherir— se pueden realizar con los materiales elastoméricos Thordon. Los materiales elastoméricos Thordon también se pueden trabajar y darles forma con herramientas manuales convencionales, teniendo en cuenta que es necesario utilizar cuchillas de corte con punta de carburo para evitar la acumulación de calor cuando se está aserrando.

MECANIZADO Y MEDICIÓN

b) MECANIZADO DE XL, SXL Y COMPAC

i) Herramienta de corte

Para mecanizar los elastómeros Thordon, es esencial utilizar la herramienta de corte correcta. La herramienta debe estar diseñada para cortar el material y lanzarlo fuera de la superficie mecanizada. Cuando se mecaniza correctamente un material Thordon, la herramienta de corte descarga un chorro continuo. La herramienta de corte debe estar afilada. Las herramientas de corte de carburo actualmente disponibles ofrecen unos resultados excelentes en el mecanizado de los cojinetes Thordon. Son muy afiladas al principio y conservan su filo muy bien.

Thordon Bearings recomienda una cuchilla fabricada por Kennametal® y que se comercializa en todo el mundo. La cuchilla es de carburo revestido de nitruro de titanio mediante PVD y es la pieza número CPGT3251HP-KC730 que se muestra más abajo. El portaherramientas es la pieza número SCMPN-083V. La serie KC730 de Kennametal® ofrece diversas cuchillas y portaherramientas.

Las normas ISO correspondientes son M05 - M20, S15 - S25. Si tiene problemas para encontrar estos artículos o productos similares, póngase en contacto con Thordon Bearings o con el distribuidor de Thordon de su zona.



Cuchilla Kennametal®

Cuando se mecanizan los cojinetes Thordon —y especialmente cuando se mandrilan—, es importante asegurarse de que el chorro de mecanizado sea eliminado. De lo contrario, interferirá con la herramienta de corte y el acabado será áspero.

NOTA: Dado que el material Thordon es muy elástico, hay que tener cuidado a la hora de retirar los recortes del área de trabajo.

Los dibujos de la figura 30 muestran la configuración correcta de la herramienta de corte cuando se utilizan cuchillas convencionales. Para SXL y COMPAC se puede utilizar acero rápido. Para XL se utilizan cuchillas de carburo de tungsteno.

ii) Velocidades de mecanizado y alimentación

En la siguiente tabla se indican las velocidades de rotación sugeridas para cojinetes de diferentes diámetros.

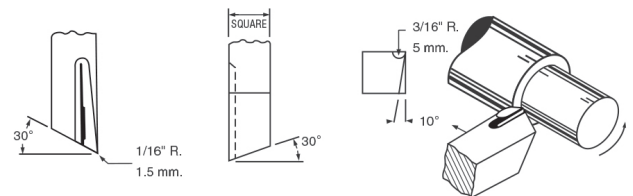
FIGURA 29 - VELOCIDADES Y ALIMENTACIONES TÍPICAS

Diámetro del cojinete		RPM	Alimentación gruesa	Alimentación fina
mm	inches			
75mm	3"	600	0.6mm/rev.	0.4mm/rev.
150mm	6"	450	(0.025"/rev.)	(0.015"/rev.)
300mm	12"	300	para herramienta HSS	para herramienta HSS
450mm	18"	150	-	-
600mm	24"	120	0.3mm/rev.	0.2mm/rev.
750mm	30"	95	(0.012"/rev.)	(0.007"/rev.)
900mm	36"	80	para herramientas con punta	para herramienta HSS

NOTA 1: Las velocidades de rotación y alimentación solo se proporcionan a título orientativo. La velocidad óptima puede ser mayor o menor dependiendo de variables como la longitud del tubo, el espesor de la pared, y la forma de apoyarse el cojinete, por ejemplo, fijado simplemente con mandril, con araña en el mandril o sobre un mandril en toda su longitud. Como es habitual con todas las operaciones de mecanizado, hace falta experimentar un poco para obtener buenos resultados.

NOTA 2: No se requieren ni se recomiendan los lubricantes de corte.

FIGURA 30 - CUCHILLA PARA MECANIZADO ESCALONADO

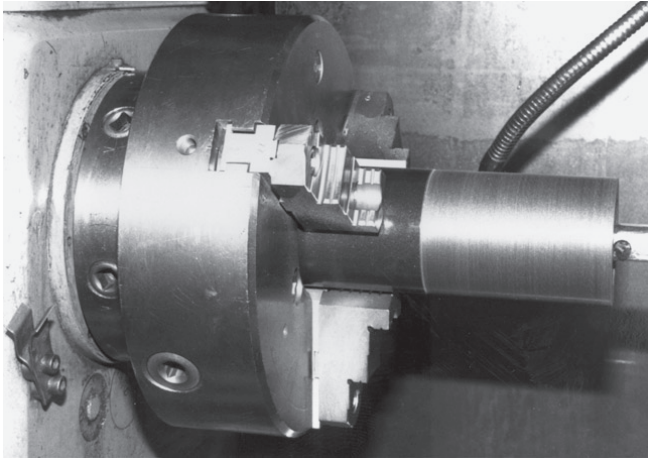


Mecanizado CNC vs. mecanizado manual

Como los materiales elastoméricos Thordon se mecanizan utilizando el D.I., el D.E. y la longitud, en la mayoría de los casos se utilizan máquinas manuales.

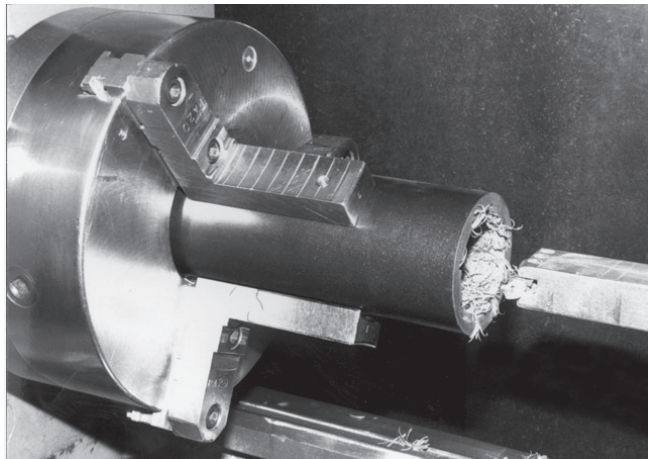
iii) Configuración del cojinete

MECANIZADO - LONGITUD PARCIAL DE UN TUBO



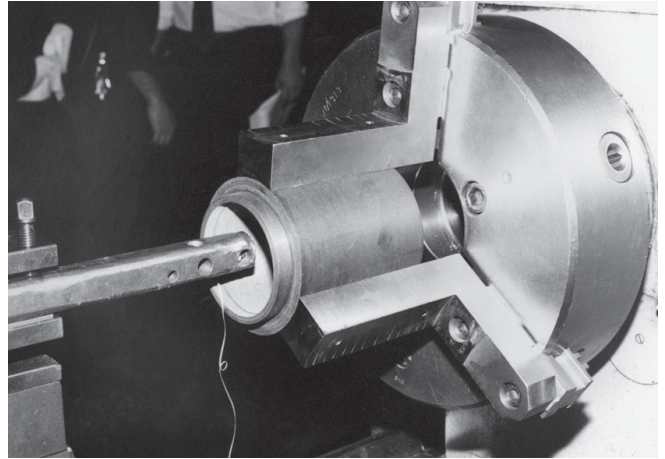
Un cojinete que se fabrica desde la longitud parcial de un tubo puede fijarse en un extremo de un mandril normal de tres mordazas, se puede desbastar el diámetro exterior, mecanizar el acabado del diámetro interior, mecanizar el acabado del diámetro exterior y, posteriormente, separarlo a la longitud deseada. Hay que tener cuidado de no apretar demasiado el mandril para no deformar el tubo.

MECANIZADO (D.I.) - TUBO DE PARED FINA CON MANDRIL DE MORDAZAS BLANDAS



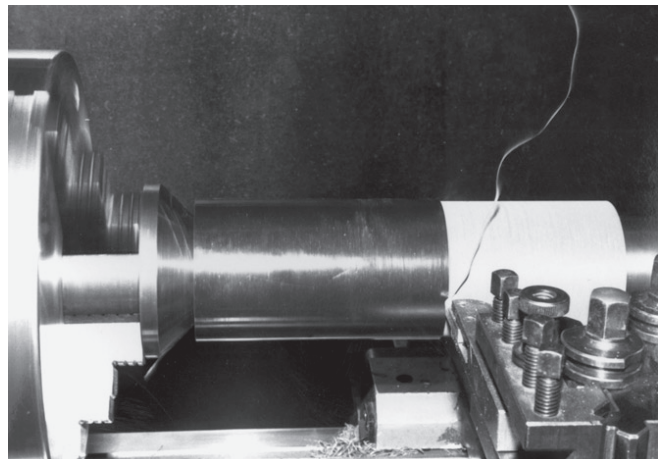
Para mecanizar el diámetro interior de un tubo de pared fina, se debe desbastar el diámetro exterior, se debe sujetar el tubo en un mandril extendido de mordazas blandas y hay que mecanizar el acabado del diámetro interior. El mandril extendido sujetará y apoyará el tubo sin deformarlo.

MECANIZADO (D.I.) - TUBO DE PARED FINA CON MANGUITO EXTERNO



También se puede mecanizar el diámetro interior de un tubo de pared fina mecanizando primeramente el diámetro exterior al tamaño requerido, introduciendo el tubo con una ligera presión en una carcasa metálica mecanizada, fijando la carcasa en el mandril y, posteriormente, mecanizando el diámetro interior del tubo. Con este método se pueden obtener tolerancias más estrechas que las obtenidas con mordazas blandas externas pero es más complicado y no suele ser necesario.

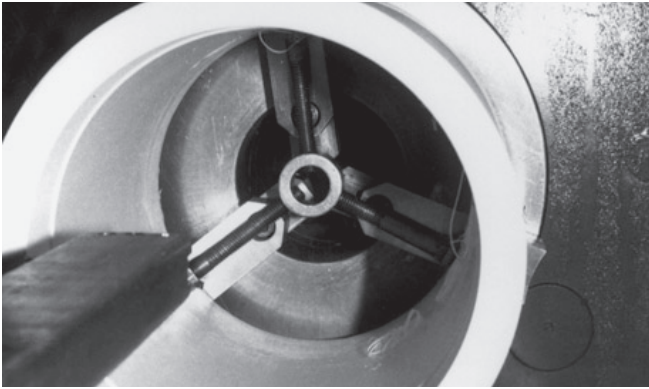
MECANIZADO (D.E.) - LONGITUD COMPLETA DE UN COJINETE CON RANURAS DE LUBRICACIÓN - APOYADO EN LOS CENTROS



Después de haber mecanizado el acabado del diámetro interior de un cojinete con ranuras de lubricación, el cojinete puede ser mandrilado en los centros, después ser impulsado por medio de una llave en una de las ranuras para terminar mecanizando el acabado del diámetro exterior. Puede utilizarse este método para cojinetes de ejes de hélices pero no se conseguirán las tolerancias estrechas que requieren los cojinetes para bombas.

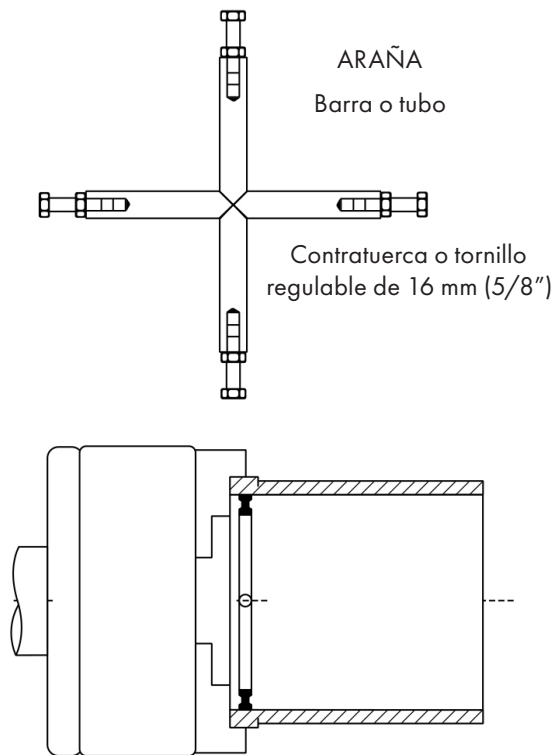
MECANIZADO Y MEDICIÓN

MECANIZADO (D.E.) - TAPÓN DE ACERO MECANIZADO O ARAÑA AJUSTABLE

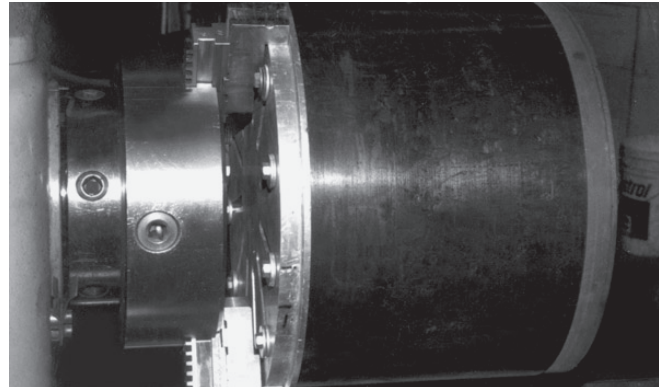


Después de haber mecanizado el acabado del diámetro interior de un tubo, se puede introducir un tapón de acero mecanizado deslizándolo en el diámetro interior del cojinete. En tubos de mayor tamaño, se puede colocar una araña de 3 o 4 brazos en el diámetro interior del tubo frente a las mordazas del mandril. Ambos dispositivos pueden eliminar la deformación que provoca la presión de las mordazas del mandril. Más abajo se ilustra una araña de 4 brazos de construcción simple. Con cualquiera de estos métodos es necesario añadir una holgura de mandrinado de 50 mm (2") a la longitud necesaria del cojinete.

FIGURA 31 - ARAÑA AJUSTABLE



MECANIZADO (D.E.) MÉTODO DE MECANIZADO PREFERIDO D.E. y D.I.

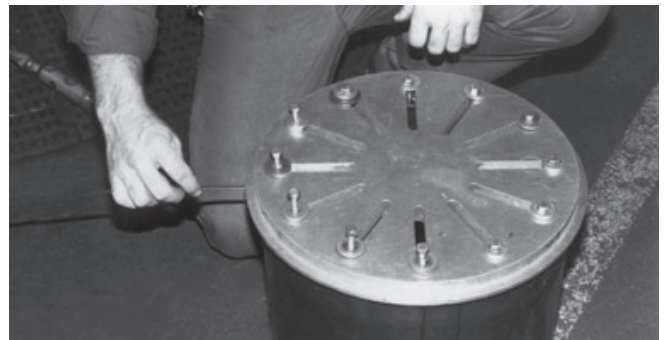


Los cojinetes con un diámetro exterior superior a 380 mm (15") se pueden montar más fácilmente para el mecanizado atornillándolos con tirafondos a una placa frontal. Posteriormente, la placa frontal puede colocarse sobre un molino vertical o mandrinarse en el torno. Se deben añadir 50 mm (2") a la longitud necesaria del cojinete a modo de holgura para el mandrinado. Se centra la placa frontal con la mayor precisión posible y luego se atornilla al tubo colocando tirafondos en los agujeros taladrados previamente. Después del montaje, si es necesario, se puede centrar el tubo para el mecanizado aflojando los tornillos y ajustando la posición del tubo utilizando las ranuras de la placa frontal.

Primero se desbasta el diámetro exterior del tubo, luego se mecaniza el acabado del diámetro interior, se mecaniza el acabado del diámetro exterior y, por último, se separa el cojinete del tubo a la longitud deseada. Si el cojinete es demasiado grande como para cogerlo de manera segura al separarlo del tubo, se deben seguir estos pasos: Separe entre un 80% y un 90% aproximadamente de tubo, retire la placa frontal y el tubo del torno y corte el cojinete con una cuchilla para separarlo posteriormente del tubo.

Si el cojinete está montado en un torno, hay que mecanizarlo completamente sin parar mucho tiempo. Así se evita que el cojinete se caiga o se deforme debido a su propio peso.

NOTA: Compruebe que el tubo está firmemente montado en la placa frontal antes de hacerlo girar. Si el tubo no está montado de manera segura, puede aflojarse y provocar lesiones personales.

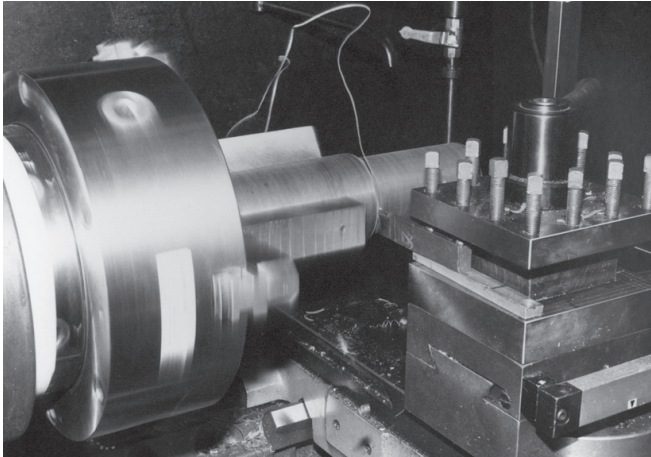


iv) Separación a la longitud deseada

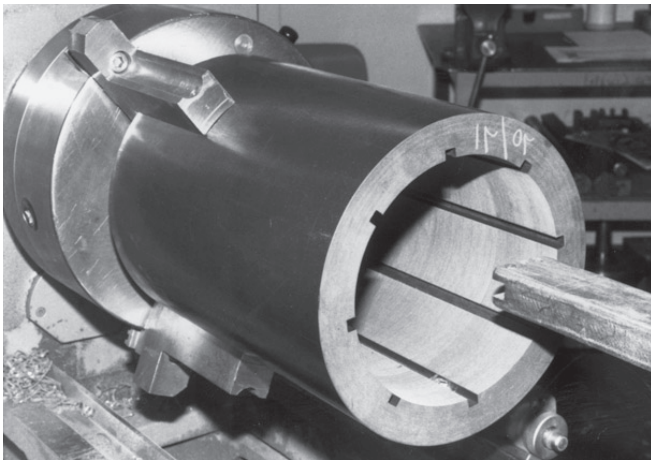
Los materiales elastoméricos Thordon se pueden separar a la longitud deseada con una herramienta estándar de separación pero se recomienda dejar una holgura lateral y de inclinación adicional para evitar la generación de calor que resulta del contacto de los materiales elastoméricos Thordon con el lateral de la herramienta de separación. Los recortes de los materiales elastoméricos Thordon deben ser retirados constantemente durante la separación para lograr una superficie cortada uniforme.

NOTA: Dado que el material es muy elástico, hay que tener cuidado a la hora de retirar los recortes del área de trabajo.

v) Mecanizado de las ranuras de lubricación

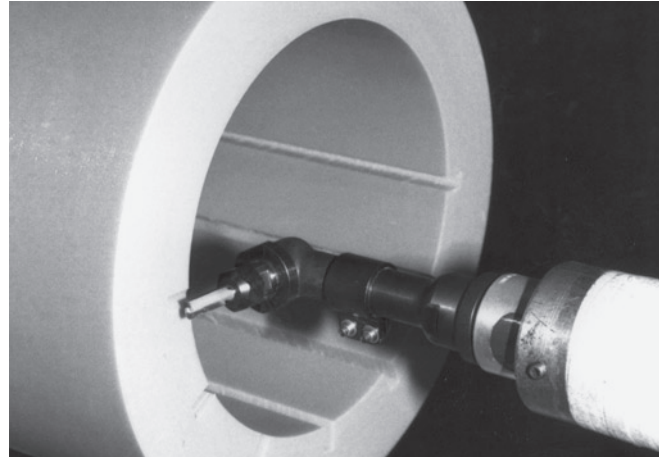


Las ranuras de lubricación se pueden mecanizar a mano o con una rebajadora.



Para mecanizar las ranuras de lubricación a mano, se coloca una cuchilla conformada en la barra de mandrinado del torno y se empuja manualmente a través del cojinete (brochado). Es posible que se requieran varias pasadas para conseguir la profundidad final de la ranura.

NOTA: Las ranuras de lubricación siempre deben mecanizarse antes de que el cojinete sea encajado dentro de la carcasa. A veces se puede mecanizar el D.I. del cojinete después de encajarlo en la carcasa pero las ranuras no se pueden mecanizar así.



Las ranuras pueden mecanizarse con mucha más facilidad colocando una rebajadora neumática de 90° en la barra de mandrinado y posteriormente mecanizando a la profundidad correcta en una pasada por el cojinete.



El diámetro exterior del mandril se puede dividir y marcar para que actúe como guía para localizar las ranuras en el cojinete.

MECANIZADO Y MEDICIÓN

vi) Consejos para el mecanizado general

1. Para obtener unos resultados óptimos en las dimensiones y en el acabado superficial, el corte final de mecanizado debe ser de entre 1,5 mm (0,060") y 2,5 mm (0,100") y la herramienta de corte debe estar muy afilada.
2. Si el mecanizado no se realiza en un entorno con temperatura controlada, se debe consultar el gráfico de temperaturas para adaptar las dimensiones de mecanizado a la temperatura real en el momento del mecanizado.

Los cambios de temperatura pueden provocar importantes cambios en las dimensiones del cojinete.

3. Debido a la naturaleza elastomérica de los cojinetes Thordon, si se comete un error de mecanizado en el diámetro interior y el espesor de la pared sigue siendo adecuado, quizá sea posible volver a calcular el diámetro exterior del cojinete y poder seguir utilizándolo. Póngase en contacto con Thordon Bearings para informarse sobre el valor del diámetro exterior corregido.
4. Antes de realizar un corte final de mecanizado, hay que asegurarse de que el cojinete no ha retenido nada de calor de los cortes previos. Si la temperatura del cojinete es superior a la temperatura ambiente del taller, las dimensiones de corte final resultantes no serán correctas.

vii) Mecanizado de cojinetes de gran tamaño >1000 mm (>40")

La forma más fácil de mecanizar cojinetes elastoméricos Thordon de gran tamaño es sobre una mandrinadora vertical. Cuando se mecaniza con una mandrinadora vertical, hay que seguir estos pasos básicos:

1. Realice el mecanizado en dos fases (véase más abajo) para evitar problemas importantes con las dimensiones después de la separación;
2. Mecanice el cojinete en una mandrinadora vertical,
3. Utilice una cinta Pi para comprobar las dimensiones del D.E.;
4. Utilice un micrómetro de bola para comprobar el espesor de la pared.

El cojinete Thordon de gran tamaño sufre importantes cambios en las dimensiones cuando se producen cambios de temperatura por lo que es fundamental controlar la temperatura del cojinete durante la inspección. Utilice una pistola de temperatura para comprobar la temperatura del cojinete en todas las inspecciones. Tenga cuidado al medir la temperatura. Los chorros que desprenden los cojinetes Thordon al mecanizarlos y el calor generado por el mandril pueden ser engañosos.

1. PRIMERA FASE DE MECANIZADO

Desbaste el D.E. y el D.I. y deje margen en todos los diámetros, recorriendo además toda la longitud (pestaña) con una ranura para la sujeción/mechanizado final.

2. MECANIZADO FINAL

Sujete el cojinete por la pestaña ranurada descrita anteriormente. Thordon recomienda mecanizar en sentido ascendente desde el mandril/pestaña porque los chorros de los cojinetes Thordon generarán calor y dificultarán la determinación de las temperaturas reales del cojinete para conseguir los cortes de acabado. Además, los chorros de material que se acumulan alrededor de la herramienta de corte tenderán a empujar la herramienta y provocar un acabado muy rugoso o problemas a la hora de retener las tolerancias.

- Pase rozando el D.E. y el D.I.;
- Acabe el D.E. - consulte los gráficos de temperaturas. Compruebe el D.E. en tres posiciones como mínimo (arriba, en la mitad y abajo);
- Acabe el D.I. midiendo el espesor de la pared - consulte los gráficos de temperaturas. Compruebe el espesor de la pared. Separe parcialmente el cojinete y córtelo con una cuchilla.

Se recomienda voltear y refrentar a la longitud deseada. El taller debe establecer el método de sujeción (el mejor método disponible) porque la separación provocará la caída de un extremo y una tensión por sujeción que pueden causar un raspado.

Vuelva a comprobar el D.E. en tres posiciones y el espesor de la pared en ambos extremos.

c) MECANIZADO DE RIVERTOUGH/COMPOSITE

El mecanizado del cojinete Thordon RiverTough/Composite es diferente al mecanizado de Thordon XL, SXL y COMPAC porque el material de la superficie de desgaste (negro), el GM2401, es más blando. El D.E. o estructura envolvente amarilla puede mecanizarse aplicando las técnicas descritas en el apartado 6b).

Sin embargo, el D.I. (negro) se mecaniza de forma diferente y esto es lo que se explica en esta sección.

i) Herramienta de corte

Las nuevas cuchillas Kennametal® de carburo revestido de nitruro de titanio mediante PVD o su equivalente que se han descrito anteriormente en la sección sobre el mecanizado de XL, SXL y COMPAC son muy recomendables para mecanizar los cojinetes RiverTough/Composite. Con estas cuchillas, se puede realizar un acabado superficial aceptable del diámetro interior —el GM2401 negro— de los cojinetes sin utilizar una trituradora de rectificación como se recomendaba en el pasado.

Si se utiliza una cuchilla de alta velocidad convencional para mecanizar el D.I. del cojinete Thordon RiverTough/Composite, se deberán seguir unos pasos adicionales. Dada la naturaleza del material de la superficie de desgaste GM2401 (negro), las cuchillas convencionales se desgastan con mucha rapidez. En una pasada de mecanizado por el diámetro interior, la cuchilla se desgasta lo suficiente como para crear una conicidad a lo largo del diámetro interior del cojinete. Hay que corregir esta conicidad en una segunda pasada de manera que lo primero que hay que hacer es asegurarse de que hacen falta dos pasadas finales con una profundidad de entre 2,0 y 3,0 mm (entre 0,080" y 0,120") para acabar el diámetro interior del cojinete. La primera pasada sirve para medir la cantidad de conicidad que se ha producido (es habitual una conicidad de 0,15 mm (0,006") a lo largo de un tubo Thordon estándar) y después hay que corregir dicha conicidad en la segunda pasada.

NOTA: Es muy importante tener en cuenta que la pasada final debe realizarse a la misma profundidad, velocidades y frecuencia de alimentación que en la anterior pasada. De lo contrario, cambiará el desgaste de la cuchilla que ha provocado la conicidad y la corrección que se está realizando a mano no será adecuada.

El mecanizado del diámetro interior produce una rebaba en las ranuras de lubricación que puede eliminarse con tela de esmeril o una herramienta de desbarbado. El acabado superficial del cojinete será un poco áspero pero el cojinete se asentará rápidamente y ofrecerá un buen rendimiento.



Herramienta de desbarbado

ii) Velocidades de mecanizado y alimentación

En la siguiente tabla se indican las velocidades de rotación sugeridas para los cojinetes RiverTough/Composite de diferentes diámetros.

FIGURA 32 - VELOCIDADES Y ALIMENTACIONES TÍPICAS PARA MECANIZAR EL RIVERTOUGH/COMPOSITE

Diámetro Cojinete		RPM	Avances	
mm	inches		Herramienta Alta Velocidad	Herramienta con punta
150mm	6"	250	0,5mm/rev.	0,25mm/rev.
300mm	12"	100	(0,020"/rev.)	(0,010"/rev.)
450mm	18"	75	para Herramienta HSS	para Herramienta HSS
600mm	24"	60	-	-
750mm	30"	50	-	-
900mm	36"	40	-	-

iii) Procedimiento de mecanizado D.E. de hasta 250 mm (10")

El procedimiento para mecanizar los cojinetes Thordon RiverTough/Composite con un diámetro exterior de hasta 250 mm (10") puede resumirse en los siguientes pasos:

- Corrija el exceso de tamaño del cojinete separando el material sobrante y refréntelo a la longitud de acabado necesaria.
- Coloque el cojinete en los centros y desbaste el diámetro exterior.
- Presione el cojinete (ligero ajuste a presión) para introducirlo en la carcasa y apoyarlo y mecanice el acabado del diámetro interior.
- Presione ligeramente el cojinete sobre el mandril y acabe el diámetro exterior.

iv) Procedimiento de mecanizado D.E. > 250 mm (>10")

Los cojinetes RiverTough/Composite mayores de 250 mm (10") se mecanizan mejor colocándolos sobre una placa frontal. Una vez colocados, se mecaniza el diámetro interior, se mecaniza el diámetro exterior, se corrige el exceso de tamaño separando el material sobrante y se refrenta a la longitud deseada.

NOTA: Compruebe que el cojinete está firmemente montado en la placa frontal antes de hacerlo girar. Si el cojinete no está montado de manera segura, puede aflojarse y provocar lesiones personales.

MECANIZADO Y MEDICIÓN

d) FRACCIONAMIENTO DE COJINETES THORDON

Hay dos métodos para fraccionar o dividir un cojinete elastomérico Thordon: con un disco de sierra o con una cuchilla. A continuación, se explican ambos métodos.

i) Fraccionamiento de un cojinete Thordon con un disco de sierra

Hay que mecanizar completamente el D.E., el D.I., la longitud del cojinete, las ranuras de lubricación y todos los biselados antes de iniciar el fraccionamiento de los segmentos del cojinete. El mejor equipo para garantizar la ubicación correcta y la medición precisa de las fracciones es una mandrinadora horizontal con una mesa rotativa indexada. En las siguientes imágenes se muestra el equipo y procedimiento recomendados.

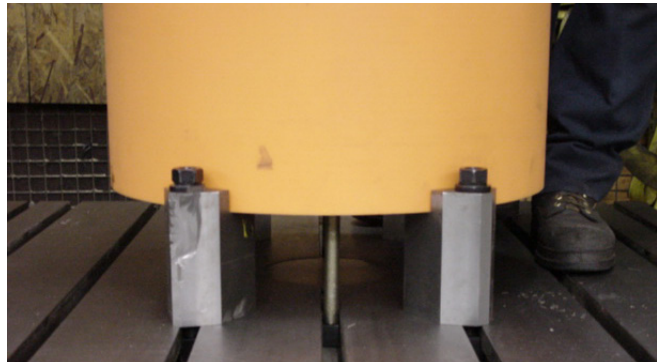
En función de la longitud del cojinete, haga dos o tres discos de soporte que tengan el mismo diámetro que el D.I. del cojinete completamente mecanizado. Las piezas de madera deben tener un espesor de 19,05 mm o 0,75" aprox. Hay que realizar dos agujeros en cada pieza con 180° de separación entre sí para poder colocar dos varillas roscadas con el fin de asegurar el cojinete. Coloque los discos de soporte en la parte superior e inferior (y en la mitad, si es necesario) del D.I. del cojinete. De esta manera, el cojinete conservará su «redondez» durante el proceso de fraccionamiento o división.



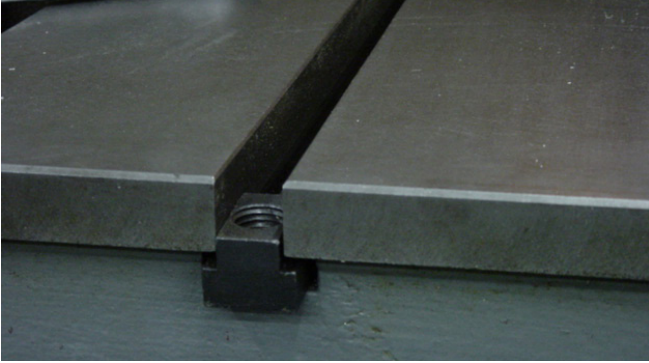
El cojinete es enclavado a la mesa con dos varillas roscadas aseguradas con tuercas en «T» que se encuentran en una ranura de la mesa. Se colocan dos barras metálicas en la parte superior del cojinete que descansan directamente sobre los tacos de apoyo metálicos colocados en la mesa de la mandrinadora. Dichas barras deben ser enclavadas colocando una tuerca roscada en la varilla. Asegúrese de que las abrazaderas de enclavamiento no estén demasiado prietas.



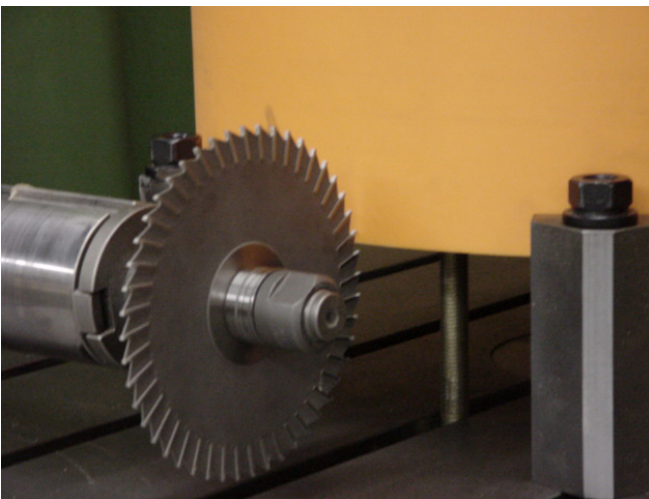
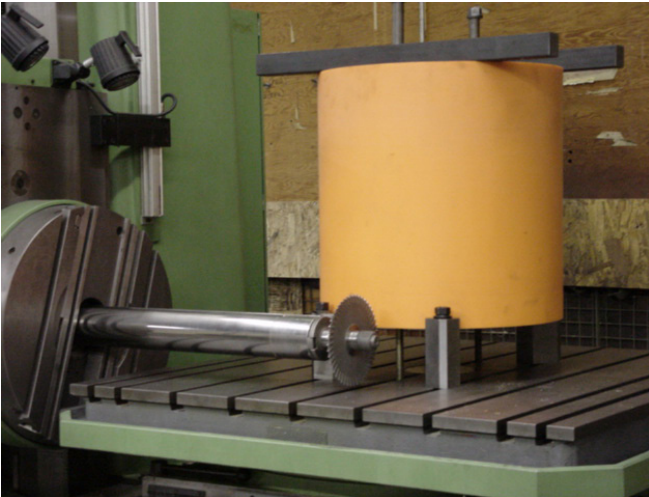
Centre la mesa de la mandrinadora y utilice cuatro tacos para elevar el cojinete y separarlo de la superficie de la mesa. Utilice el indicador para colocar los tacos en el centro de la mesa y para que el cojinete quede centrado en la mandrinadora. Los tacos deben estar colocados con una separación de unos 90° entre sí para poder apoyar el cojinete. Hay que colocar el cojinete sobre los tacos y orientarlo para situar el corte en la línea divisoria que se muestra en el dibujo de los detalles del cojinete.



NOTA: Mida el D.I. de los cojinetes a la temperatura a la que están siendo mecanizados y utilice estas cifras para crear las piezas de madera. Mantenga constante la temperatura del taller mientras fracciona el cojinete. Si la temperatura cambia bruscamente, los cojinetes pueden contraerse o dilatarse y las piezas de madera no encajarán bien.

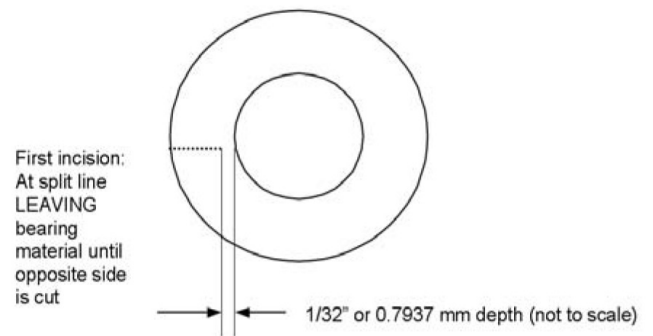


Alinee el husillo de la máquina a la línea divisoria indicada en el dibujo y perpendicularmente a la superficie del cojinete. En el taller de Thordon se suele utilizar una cuchilla de 203,2 mm x 3 mm x 31,75 mm (8" x 1/8" x 1 1/4") con sierra metálica de acero rápido (sierras con holgura lateral para las virutas) para fraccionar los cojinetes. La velocidad de corte debe ser de 250 mm/min (10 in/min) aprox. a 140 RPM. El disco debe estar colocado con los dientes en dirección opuesta al cojinete para que la sierra corte desde el cojinete.



Comience a cortar por la línea divisoria. Coloque el husillo para realizar la incisión en sentido ascendente, cortando desde el D.E hacia el D.I. del cojinete. El corte debe tener una profundidad tal que quede sin cortar una sección de material de 0,794 mm (1/32") en la parte inferior del corte, completando dicho corte después de cortar el lado opuesto. Véase la siguiente figura. Si se corta todo el espesor del cojinete, el material tenderá a retornar elásticamente, perdiendo su redondez y haciendo que resulte muy difícil seguir con el fraccionamiento en el lado opuesto (180°).

FIGURA 33 – FRACCIONAMIENTO DE UN COJINETE THORDON



Gire la mesa 180° y prosiga con el segundo corte dejando aquí también unos 0,794 mm (1/32") de material de cojinete sin cortar, como se muestra en la figura 33. Asegúrese de que ambas mitades tienen la misma longitud de arco. Se debe utilizar aire constantemente durante el corte para retirar las virutas. Si no se eliminan las virutas, el disco de sierra puede atascarse y romperse. Extraiga el cojinete de la mesa de la mandrinadora. Con una cuchilla afilada, corte los 0,794 mm (1/32") de material que han quedado sin cortar hasta que los dos segmentos queden separados. Limpie los bordes.

NOTA: Utilice aire comprimido para retirar el material mientras está siendo separado del cojinete. Si no retira el material, tenderá a fundirse en la cuchilla mientras continúa el proceso de fraccionamiento.

MECANIZADO Y MEDICIÓN

ii) Fraccionamiento de un cojinete Thordon con una cuchilla

Antes de utilizar esta técnica, hay que realizar el acabado completo del D.E., el D.I, la longitud y las ranuras del cojinete. Marque dónde va a dividir el material antes de iniciar el fraccionamiento.



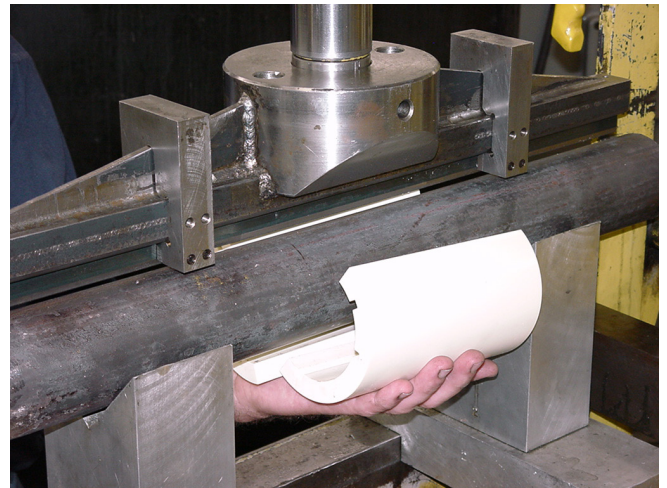
Para cortar «con cuchilla» los cojinetes mediante un corte directo —sin dejar parte de material sin cortar como en el corte con disco de sierra—, se utiliza una prensa hidráulica. El soporte de la cuchilla ha sido hecho en nuestras instalaciones para adaptarlo a nuestra prensa. Los dos soportes de la parte inferior sirven para apoyar el eje que se utiliza para colocar el cojinete.



El eje es introducido en el cojinete que se va a fraccionar y todo el conjunto se coloca sobre los dos soportes.



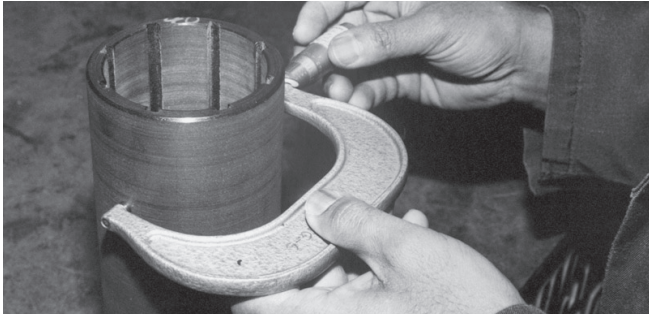
Se realiza el primer corte. Sujete el cojinete para que no se mueva mientras la cuchilla baja.



Gire el cojinete 180° y sujételo para que no se mueva mientras se realiza el segundo corte.

e) MEDICIONES DIMENSIONALES Y DEL ACABADO SUPERFICIAL

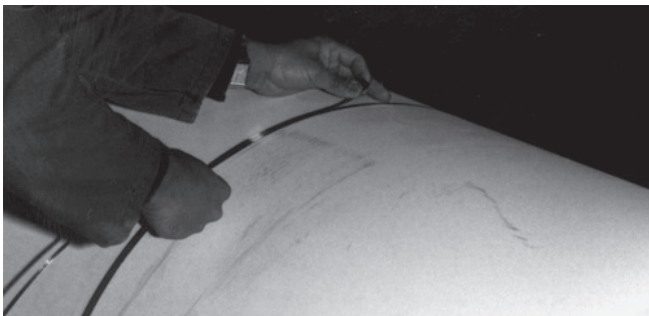
i) Mediciones dimensionales



Micrómetro de exteriores

En la mayoría de los casos, los cojinetes Thordon pueden medirse utilizando los mismos instrumentos y métodos que con cualquier otro material. Es necesario recordar que los cojinetes elastoméricos Thordon deben ser tocados suavemente al medirlos porque pueden deformarse. Además, los cojinetes elastoméricos Thordon tienen un alto coeficiente de dilatación en comparación con los metales así que las medidas deben cogerse a la temperatura del taller. Si esto no es posible, entonces se deberán corregir las dimensiones teniendo en cuenta la contracción y dilatación térmicas que se han producido debido a la diferencia entre la temperatura del taller y la temperatura ambiente del lugar en el que se han realizado las mediciones.

En cuanto a los cojinetes con paredes relativamente finas y diámetro más grande que han sido mecanizados y retirados del torno, es habitual que queden ovalados. Esta deformación puede deberse a que el cojinete se comba por su propio peso o por haber estado sujetado firmemente en un palet para su envío. Puede parecer que se han superado las tolerancias del cojinete por el hecho de que ha perdido redondez. Esto no supone un problema porque, cuando se introduzca el cojinete en una carcasa a presión, adoptará la forma de la carcasa y se redondeará. Para medir con precisión el cojinete fuera de la carcasa, utilice una cinta Pi para medir el diámetro exterior y posteriormente mida el espesor de la pared con un micrómetro de bola con el fin de obtener la dimensión correcta del diámetro interior.



La cinta Pi es una cinta de acero de precisión calibrada para medir diámetros midiendo la circunferencia.

ii) Acabado superficial y tolerancias

Debido a su naturaleza elastomérica y no metálica, el cojinete Thordon no puede tener un acabado superficial tan liso como el de los metales. Esto no supone un problema porque el cojinete pasa por un período normal de rodaje durante el cual desaparece la rugosidad inicial de su superficie, que se vuelve lisa. Sin embargo, es importante tratar de obtener el mejor acabado posible para reducir la fricción y el desgaste inicial del periodo de rodaje. En la sección de mecanizado, se explican las técnicas para obtener un buen acabado superficial pero es importante saber cómo medir el acabado superficial de un cojinete Thordon.

Dada la naturaleza no metálica de los cojinetes Thordon, parecen más lisos al tacto de lo que realmente son en comparación con los metales. Para medir con precisión el acabado superficial del cojinete Thordon, se debe utilizar un medidor con estilete para acabados superficiales. La experiencia ha demostrado que el comparador suele ofrecer un valor inferior al real. Esto se debe a que los cojinetes Thordon son más blandos que el metal y son más lisos al tacto de lo que realmente son cuando son medidos con un estilete.

Estas son las tolerancias del acabado superficial:

- **XL, SXL, COMPAC, HPSXL:**
3,2 micrómetros (125 micropulgadas) de Ra
- **RiverTough/Composite:**
4,2 micrómetros (175 micropulgadas) de Ra

NOTA: Dadas las características únicas de los cojinetes Thordon en comparación con los metales, el rendimiento puede seguir siendo óptimo con acabados superficiales relativamente altos (en comparación con el metal).

MECANIZADO Y MEDICIÓN

iii) Tolerancias de mecanizado

Los cojinetes Thordon no son metálicos y por ello no se pueden mecanizar con las mismas tolerancias estrechas que el bronce u otros materiales rígidos. Por el contrario, las tolerancias metálicas estrechas no son necesarias para conseguir un buen rendimiento. En la figura 34, se muestran las tolerancias de mecanizado estándar para los elastómeros Thordon.

**FIGURA 34 - TOLERANCIA DE MECANIZADO DE
XL, SXL, COMPAC & RiverTough/Composite**

Cojinetes de hasta 330 mm (13,00")		
D.E.	+0,13 mm; -0,00 mm	(+0,005"; -0,000")
D.I.	+0,13 mm; -0,00 mm	(+0,005"; -0,000")

Cojinetes de entre 330 y 530 mm (13,00" y 21,00")		
D.E.	+0,18 mm; -0,00 mm	(+0,007"; -0,000")
Espesor de la pared (E.P.)	+0,00 mm; -0,13 mm	(+0,000"; -0,005")
D.I. (Solo RiverTough/Composite)	+0,18 mm; -0,00 mm	(+0,007"; -0,000")

Cojinetes de más de 530 mm (21,00")		
D.E.	+0,25 mm; -0,00 mm	(+0,010"; -0,000")
E.P.	+0,00 mm; -0,13 mm	(+0,000"; -0,005")
D.I. (Solo RiverTough/Composite)	+0,25 mm; -0,00 mm	(+0,010"; -0,000")

Tolerancia de longitud del cojinete:		
Para cojinetes de menos de 500 mm (20")	+0,00 mm; -0,50 mm	(+0,000"; -0,020")
Para cojinetes de más de 500 mm (20")	+0,00 mm; -1,00 mm	(+0,000"; -0,040")

NOTA 1: En el caso de los cojinetes Thordon XL, SXL y COMPAC de más de 330 mm (13"), hay que controlar la tolerancia del D.I. mecanizado vigilando el espesor de la pared del cojinete. En cuanto a los cojinetes RiverTough/Composite de más de 330 mm (13"), hay que controlar el D.I. real del cojinete.

NOTA 2: Si el espesor de la pared es inferior a 25 mm (1"), puede haber limitaciones en cuanto a la longitud de cojinete que pueda mecanizarse correctamente. Solicite información detallada a Thordon Bearings.

NOTA 3: Si una aplicación requiere tolerancias más estrechas que las indicadas en este manual, póngase en contacto con su distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings Inc. para recibir más ayuda.

7) Adhesión con TG-75

- | | | |
|------------------------------------|----------------------------|-------------------|
| a. Preparación de la superficie | d. Aplicación del adhesivo | g. Almacenamiento |
| b. Mezcla de componentes adhesivos | e. Solución de problemas | |
| c. Endurecimiento del adhesivo | f. Limpieza | |

a) PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

Hay que preparar adecuadamente el sustrato metálico y el material Thordon. Una mala preparación del sustrato puede provocar la pérdida de fuerza de adhesión y la posibilidad de que los cojinetes se aflojen y se salgan de la carcasa durante el funcionamiento.

i) Preparación del metal

Las superficies metálicas no deben alisarse más de 3,0 micrómetros de Ra (125 micropulgadas). Es preciso granallar la superficie para aumentar la adhesión. En cuanto a los metales que presentan corrosión, limpie la superficie con chorro de abrasivo para obtener una superficie de grado cercano a blanco conforme a la norma SSPC-SP N° 10/NACE N° 2.

NOTA: La adhesión debe realizarse en dos horas desde que la superficie ha sido preparada y limpiada. En el caso del aluminio y el acero inoxidable, reduzca el tiempo de exposición a 30 minutos o menos porque, con estos materiales, se forma muy rápidamente una capa de oxidación después del pulido con chorro de arena.

Después del pulido con chorro de arena, la superficie que va adherirse debe limpiarse con un disolvente/desengrasante orgánico como la metiletilcetona (MEK), alcohol isopropílico u otro desengrasante similar que no genere residuos con el fin de eliminar cualquier contaminación antes de aplicar el adhesivo TG-75. Antes de la adhesión, deje que el desengrasante se evapore por completo sin generar más contaminación. No toque las piezas limpias. Si tiene que manipular las piezas limpias, utilice guantes de látex NUEVOS para proteger la superficie limpia y sin la contaminación provocada por la grasa de la piel.

ii) Preparación del cojinete Thordon

El acabado superficial del cojinete Thordon que va a adherirse debe tener entre 3,0 y 6,0 micrómetros de Ra (125 a 250 micropulgadas). Se puede utilizar papel de lija para raspar la zona que va a adherirse.

Se recomienda limpiar la superficie del cojinete con un paño o papel suave humedecidos con un poco de disolvente. Compruebe que no queda ningún resto de papel. También se puede utilizar un cepillo limpio para limpiar la superficie. Deje que el disolvente se seque por completo antes de aplicar el adhesivo. Tenga en cuenta que NO hay que sumergir el cojinete elastomérico en disolvente.

b) MEZCLA DE COMPONENTES ADHESIVOS

El adhesivo TG-75 es un sistema formado por dos componentes: un acelerador conocido como «TG-75A» y una resina «TG-75B». Hay que mezclar estos dos componentes aplicando la siguiente relación de VOLUMEN:

Componente A a Componente B = 1:2

Con unas relaciones de mezcla inadecuadas, el adhesivo podría no endurecerse (si se utiliza muy poco acelerador, el adhesivo no se endurece) o podría endurecerse demasiado rápido (si se aplica demasiado acelerador), provocando tiempos de endurecimiento muy reducidos. El uso de cartuchos de TG-75 no solo garantiza unas relaciones correctas sino que el mezclador estático también asegura una mezcla adecuada.

Para lograr un rendimiento óptimo, también es muy importante la temperatura de los materiales en el momento de la mezcla. Si los cartuchos se almacenan a baja temperatura, hay que dejar que recuperen la temperatura ambiente (una noche como mínimo) ANTES de mezclar los componentes A y B. En el apartado de Almacenamiento encontrará más información.

Una vez realizada la mezcla, el adhesivo ofrece un tiempo de trabajo máximo de 60 minutos a 23 °C (73 °F) y tiene una viscosidad de 50.000 cps aprox. Si aumenta la temperatura, se reducirá el tiempo de trabajo o la vida útil de la mezcla.

El adhesivo TG-75 se suministra en tubos premedidos y cada tubo contiene 450 ml (0,12 galones americanos) de adhesivo mezclado. Un tubo suele cubrir 7000 cm² (1085 in²) con un espesor de 0,25 mm (0,010 in). El rango de espesor de adhesivo recomendado va de 0,25 mm a 0,38 mm (0,010 in a 0,015 in). Si se supera el espesor de adhesivo recomendado, se reduce la fuerza de adhesión. Consulte a Thordon Bearings si tiene que aplicar espesores de adhesivo superiores.

ADHESIÓN

i) Procedimiento de dispensación A Pistola neumática

- a. Retraiga completamente los pistones a mano: La pistola neumática debe estar conectada a la empuñadura y hay que tirar hacia atrás la varilla central hasta que los pistones estén totalmente retraídos.
- b. Inserte el conjunto del cartucho: extraiga los tapones con forma de «D» del cartucho y guárdelos en un lugar seguro para volver a almacenarlo más tarde. Véase la figura 35. Coloque el extremo abierto del conjunto del cartucho sobre las almohadillas del pistón. Debe alinear las almohadillas en el centro de los émbolos del cartucho. Si los pistones no están centrados, los émbolos pueden darse la vuelta o ser empujados de forma irregular, provocando una mezcla inadecuada y escapes. Encaje el extremo frontal del conjunto del cartucho en la parte frontal de la pistola. Empuje el pistón manualmente hacia delante hasta que toque fondo en el interior de los émbolos del cartucho. Véase la figura 38.



Figura 35: Tapones del cartucho de TG-75



Figura 36: Cartucho de TG-75 bien insertado en la pistola neumática

- c. k. Ajuste el cartucho: utilice una pistola neumática con una presión máxima de 0,70 MPa (100 psi) y gire el botón regulador en el sentido contrario a las agujas del reloj hasta que haga tope. Coloque las puntas del cartucho en una superficie desechable. Apriete el gatillo de la pistola y ábrala lentamente (gire el botón regulador en el sentido de las agujas del reloj) hasta que el compuesto salga uniformemente de las puntas del cartucho. Suelte el gatillo.
- d. l. Dispensación: abra el regulador de presión desde el ajuste de baja presión hasta obtener el caudal deseado. Extraiga la cantidad necesaria de adhesivo a una superficie desechable y mézclelo muy bien hasta que su color sea completamente uniforme.

ii) Procedimiento de dispensación B Pistola manual

- a. Apriete a fondo la palanca de apertura con el pulgar y retraiga el conjunto del carro del pistón. Véase la figura 37.

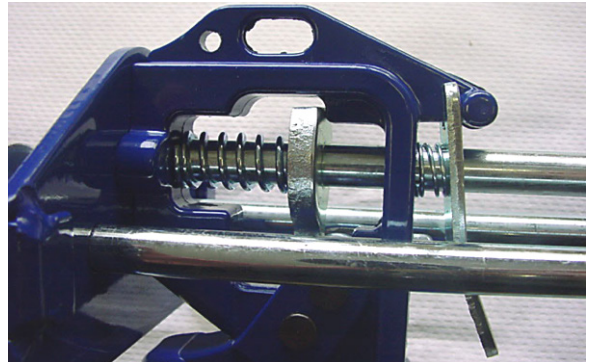


Figura 37: Palanca de apertura con el pulgar - indicada con una flecha

- b. Inserte el conjunto del cartucho: extraiga los tapones con forma de «D» del cartucho y guárdelos en un lugar seguro para volver a almacenarlo más tarde. Coloque el extremo abierto del conjunto del cartucho sobre las almohadillas del pistón. Debe alinear las almohadillas en el centro de los émbolos del cartucho. Véase la figura 38.

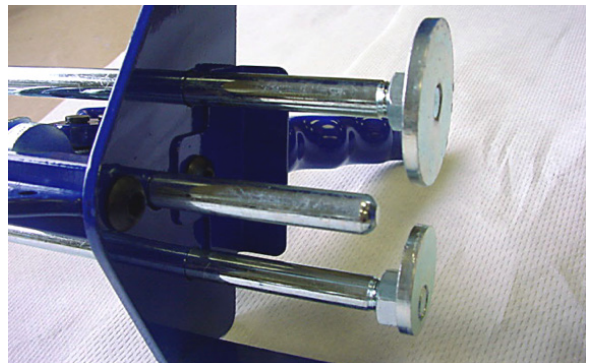


Figura 38: Émbolos de la pistola manual

- Si los pistones no están centrados, los émbolos pueden darse la vuelta o ser empujados de forma irregular, provocando una mezcla inadecuada y escapes. Encaje el extremo frontal del conjunto del cartucho en la parte frontal de la pistola. Empuje el pistón manualmente hacia delante hasta que toque fondo en el interior de los émbolos del cartucho.
- c. Coloque las puntas de los cartuchos sobre una superficie desechable y apriete el asa del gatillo lentamente hasta que el compuesto salga de ambas puntas del cartucho. Suelte el asa del gatillo y apriete a fondo la palanca de apertura con el pulgar.
 - d. Ejercer una presión constante sobre el asa del gatillo mientras dispensa la cantidad adecuada de material. Apriete a fondo la palanca de apertura con el pulgar inmediatamente después de dispensar el material. De lo contrario, la acumulación de presión en el cartucho hará que salga más compuesto del deseado.

c) ENDURECIMIENTO DEL ADHESIVO

Siempre que el material haya sido mezclado correctamente, el tiempo de endurecimiento del TG-75 depende de la temperatura existente durante el periodo de endurecimiento. Estas son las temperaturas de endurecimiento recomendadas para el TG-75:

- Típicas: 20 a 40 °C (68 a 104 °F)
- Mínima: 10 °C (50 °F)

Póngase en contacto con Thordon Bearings si el TG-75 es utilizado a temperaturas que se salen del rango indicado anteriormente.

Temperatura y tiempos de endurecimiento

En 8 horas a 23 °C (73 °F) se consigue más del 60% de la fuerza de adhesión. En 4 horas a 40 °C (104 °F) se consigue aproximadamente un 80% de la fuerza de adhesión. El endurecimiento total se consigue en 5 días a 23 °C (73 °F).

Si el tiempo de endurecimiento es insuficiente —especialmente a bajas temperaturas— antes de la inmersión en agua, se reducirán los valores de la fuerza de adhesión. El agua detendrá el endurecimiento del adhesivo.

Nota: En el caso de los cojinetes con un gran D.E. (250 mm (9,843 in) y superior), es importante mecanizar el cojinete e instalarlo mediante adhesión a la MISMA temperatura aproximadamente. Si se mecaniza el cojinete a una temperatura y se instala mediante adhesión a otra temperatura, ello podría tener efectos significativos en el espesor óptimo del adhesivo. Véase el ejemplo.

Después de aplicar el adhesivo, mantenga el cojinete y el conjunto portador a una temperatura constante mientras el adhesivo se endurece.

EJEMPLO

Se mecaniza un cojinete SXL por la tarde a 30 °C (86 °F) para encajarlo en una carcasa con un D.I. de 250 mm (9,843 in). Basándose en el espesor óptimo del adhesivo, se mecaniza el D.E. del cojinete a

$$250 \text{ mm} - 2 \times 0,25 \text{ mm} = 249,50 \text{ mm}$$

$$(9,843 \text{ in} - 2 \times 0,010 \text{ in} = 9,823 \text{ in})$$

El cojinete va a instalarse al día siguiente pero debe tener en cuenta que la temperatura del taller ha aumentado a 35 °C (95 °F).

Aplicando el coeficiente de dilatación térmica para el SXL (21,1 x 10⁻⁵ cm/cm/°C (11,7 x 10⁻⁵ in/in/°F)) y la diferencia de temperatura (5°C (9°F)), el D.E. del cojinete a 35 °C ha aumentado a 249,76 mm (9,833 in).

El espesor del adhesivo se reduce a 0,12 mm (0,005 in) con la diferencia de temperatura. Estos efectos térmicos son aún mayores con cojinetes de mayor tamaño.

d) APLICACIÓN DEL ADHESIVO

Como se ha mencionado anteriormente, para obtener los mejores resultados se recomienda llevar a cabo la instalación por adhesión a la MISMA temperatura a la que se ha mecanizado el cojinete. En entornos fríos, es importante mantener la temperatura por encima de los 10 °C (50 °F) para que el adhesivo se endurezca correctamente.

i) Cojinetes divididos o superficies planas

- Aplice el adhesivo a la superficie preparada del metal y extiéndalo uniformemente con una espátula o una pequeña llana con muescas. Véanse las figuras 39 y 40.

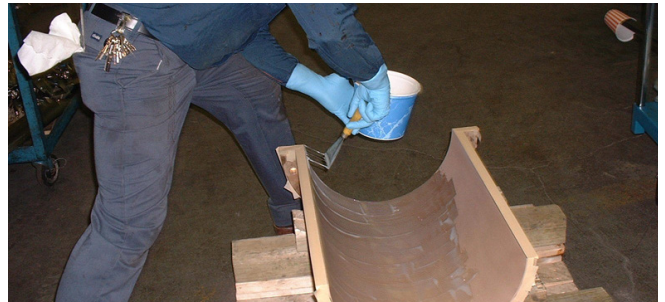


Figura 39: Adhesivo siendo aplicado a una carcasa metálica dividida



Figura 40: TG-75 siendo aplicado al D.E. de un cojinete SXL dividido

- Coloque el componente Thordon y sujételo con pinzas abrazaderas para que salga una pequeña cantidad de adhesivo por los bordes de la pieza Thordon. Véase la figura 41. No mecanice ni manipule la pieza adherida durante un periodo mínimo de 8 horas a 23 °C o 73 °F. Evite manchar el adhesivo durante el montaje.



Figura 41: Sujeción del SXL a la carcasa metálica con abrazaderas ejerciendo poca fuerza

ADHESIÓN

ii) Cojinetes cilíndricos

- Hay que dimensionar el cojinete para permitir que el adhesivo tenga un espesor de entre 0,25 y 0,38 mm (0,010 a 0,015 in). Esto supone tener una tolerancia de entre 0,50 y 0,76 mm (0,020 a 0,030 in) en el diámetro exterior. El TG-75 rellenará huecos con un espesor máximo de 3,0 mm (0,125 in) pero la resistencia a la cizalladura disminuye con un espesor superior a 0,6 mm (0,025 in).
- Aplique el adhesivo tanto en el metal como en el cojinete Thordon. Extiéndalo uniformemente con una espátula o una pequeña llana con muescas.
- Deslice el cojinete dentro de la carcasa. Si gira ligeramente el cojinete, ello puede ayudar a homogeneizar la capa adhesiva pero no realice excesivos movimientos de un lado a otro porque podrían aparecer burbujas de aire dentro de la capa.
- Se pueden utilizar espaciadores cuando el cojinete no puede ser sujetado excéntricamente con la carcasa y el espesor irregular del adhesivo supone un problema. Se pueden utilizar perlas de vidrio o calzas metálicas y alambre para asegurarse de que el espesor es uniforme a lo largo de toda la circunferencia. En la figura 42 se sugiere una configuración.

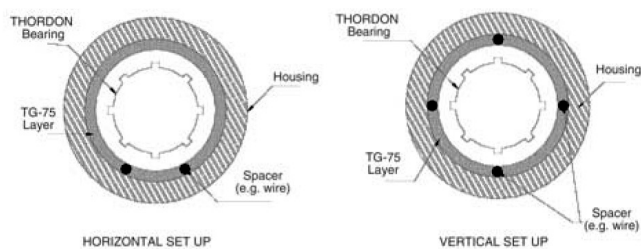


Figura 42: Alambre utilizado para mantener el cojinete excéntrico en la carcasa (el dibujo no está a escala)

e) SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

- Si el compuesto esquiva los émbolos y se escapa por la parte trasera de los cartuchos, compruebe que los émbolos se asientan directamente contra los émbolos de los cartuchos.
- Si se escapa compuesto por alrededor de la tuerca de retención, asegúrese de que la tuerca no está roscada transversalmente y apriétela más.
- El compuesto dispensado debe ser consistente en cuanto al color.

f) LIMPIEZA

Raspe el exceso de producto con una llana y luego humedezca un paño con disolvente y retire con cuidado el resto de adhesivo de los bordes del conjunto adherido. No contamine la línea de adhesión con disolvente.

g) ALMACENAMIENTO DEL TG-75 Y VIDA ÚTIL

Los cartuchos de TG-75 pueden guardarse a temperatura ambiente (~20 °C o 68 °F) y tienen una vida útil de 15 meses desde el momento de su envío. Para aumentar la vida útil del material, puede guardar los cartuchos en un frigorífico o congelador. Una temperatura más baja alarga la vida útil de los componentes no mezclados hasta 30 meses desde el momento de su envío.

El almacenamiento a temperaturas más bajas (-10 °C a -20 °C o 14 °F a -4 °F) puede provocar la cristalización o solidificación del adhesivo, haciendo que el producto tenga un aspecto de líquido nebuloso o de semisólido ceroso. La cristalización no indica ningún problema con el material y no afecta a su rendimiento. No obstante, no se debe mezclar los componentes A y B si se sospecha que están cristalizados.

La cristalización desaparece haciendo que los materiales recuperen la temperatura ambiente. Si dispone de tiempo suficiente, deje que el material se caliente de forma natural durante la noche. El cartucho y su contenido pueden ser calentados ligeramente (sin calor ni llama directos). Lleve el cartucho a 50 °C (120 °F) durante 30 minutos aprox. Deje que vuelva a enfriarse para alcanzar la temperatura ambiente antes de utilizarlo.

Si solo se necesita una parte del contenido del cartucho, se puede almacenar el resto para un uso posterior siempre que sea sellado adecuadamente. Una vez finalizado el proceso inicial de adhesión, vuelva a colocar los tapones con forma de «D» en los cartuchos. Guarde el cartucho utilizado en un congelador para preservar sus componentes.

NOTA: El TG-75 no contiene disolventes reactivos fotoquímicos ni volátiles. No contiene CFC.

GARANTÍA LIMITADA Y LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD PARA THORDON BEARINGS INC. ('TBI')

- a. Términos básicos. TBI ofrece una garantía limitada por los Productos de fabricación propia que vende al Comprador de los mismos frente a defectos del material y de fabricación (la «Garantía Limitada»).
- b. Cobertura. Esta Garantía Limitada cubre la reparación, sustitución o reembolso del precio de compra —según elija TBI— de cualquier producto defectuoso sobre el cual, tras descubrir el defecto, el Comprador ha informado inmediatamente mediante notificación escrita. TBI NO garantiza la comerciabilidad de su producto NI garantiza explícita ni implícitamente nada que no cubra la garantía que contiene el presente documento.
- c. Productos de terceros. Los accesorios, equipos y piezas que no han sido fabricados por TBI están cubiertos por una garantía solo en la medida en que han sido garantizados a TBI por el fabricante real de los mismos y únicamente en la medida en que TBI pueda hacer valer dicha garantía.
- d. Responsabilidad limitada. La responsabilidad de TBI por cualquier reclamación, daño, pérdida o lesión que surja a raíz de, o con relación a, su ejecución o incumplimiento de cualquier contrato de venta de los productos y la fabricación, venta, envío, reventa, reparación o uso de cualquier producto NO superará el precio acordado para dichos Productos. La compensación para el Comprador consistirá en la sustitución o reparación de los Productos, según elija TBI. Esta será la única y exclusiva compensación que recibirá el Comprador de TBI.
- EN NINGÚN CASO TBI ASUMIRÁ RESPONSABILIDAD ALGUNA POR NINGÚN DAÑO IMPREVISTO, ESPECIAL O INDIRECTO TALES COMO, ENTRE OTROS, PÉRDIDA DE BENEFICIOS, PÉRDIDA DE NEGOCIO, PÉRDIDA DE FONDO DE COMERCIO, TIEMPO DE INACTIVIDAD DE LA MAQUINARIA, DESTRUCCIÓN O PÉRDIDA DE BIENES DE CAPITAL, RESPONSABILIDAD POR LESIONES PERSONALES, FALLECIMIENTO, DAÑOS MATERIALES Y CUALQUIER OTRO TIPO DE DAÑOS, YA SEAN SIMILARES O DIFERENTES A LOS ENUMERADOS EN EL PRESENTE APARTADO.
- e. Defectos ocultos. Si existen defectos en los materiales o la fabricación o defectos que surgen a raíz de la selección de material o procesos del fabricante, dichos defectos deben ser evidentes en los Productos en un periodo de tres (3) meses tras el envío y aceptación de los mismos por el Comprador.
- f. Exclusiones. Con relación a cada defecto mencionado anteriormente, TBI quedará exenta de toda obligación y responsabilidad conforme a la presente Garantía Limitada si:
1. Los Productos funcionan con cualquier accesorio, equipo o pieza no aprobados específicamente por TBI ni fabricados por TBI o según las especificaciones y diseño de TBI, a menos que el Comprador facilite pruebas razonables que demuestren que dicha instalación no ha sido la causa del defecto, a condición de que la presente disposición no se aplicará a ningún accesorio, equipo ni pieza cuyo uso no afecte a la seguridad de los Productos;
 2. Los Productos no funcionarán ni serán mantenidos conforme a las instrucciones escritas de TBI que se han enviado al Comprador, en cualquier momento o periódicamente, a menos que el Comprador facilite pruebas razonables de que dicho funcionamiento o mantenimiento no ha sido la causa del defecto;
 3. Los Productos no funcionarán ni serán mantenidos bajo condiciones normales de uso industrial, a menos que el Comprador facilite pruebas razonables de que dicho funcionamiento no ha sido la causa del defecto;
 4. Los Productos han sido reparados, alterados o modificados sin la autorización escrita de TBI o, si los Productos han funcionado después de su implicación en un accidente o avería, a menos que el Comprador facilite pruebas razonables de que dicha reparación, alteración, modificación, funcionamiento, accidente o avería no ha sido la causa del defecto, aunque a condición de que la presente limitación, siempre y cuando esté relacionada con reparaciones, accidentes y averías, NO se aplique reparaciones o sustituciones rutinarias o pequeños accidentes o pequeñas averías que se producen normalmente durante el funcionamiento de una máquina, si dichas reparaciones o sustituciones se realizan con materiales adecuados y conforme a las prácticas habituales;
 5. El Comprador no presenta a TBI pruebas razonables de que el defecto se debe a un material cubierto por la Garantía Limitada de TBI estipulada en el presente documento.
- g. Plazo de vigencia de la garantía. La presente Garantía Limitada de TBI que se incluye en los presentes Términos y Condiciones o en cualquier documento entregado con el fin de llevar a cabo las transacciones contempladas en el presente documento seguirá vigente en beneficio del Comprador, exceptuando que el Comprador no podrá presentar ninguna reclamación de garantía después de la fecha en que se cumplan doce (12) meses tras la entrega y aceptación de los Productos conforme al presente Contrato.
- h. Vencimiento y exención. Tras vencer el plazo de vigencia de la presente Garantía Limitada, tal y como se ha mencionado anteriormente, TBI quedará exenta de toda obligación y responsabilidad con respecto a dicha garantía presentada por TBI y que se incluye en el presente Contrato o cualquier documento entregado con el fin de llevar a cabo las transacciones contempladas en el presente documento.

NOS CENTRAMOS EN EL CLIENTE PARA CUBRIR SUS NECESIDADES INMEDIATAS Y FUTURAS

Suministro y servicio

Thordon Bearings, orientada a ofrecer una respuesta rápida a las necesidades de sus clientes, comprende la importancia de una entrega rápida y un tiempo de inactividad reducido. Los cojinetes industriales y marinos Thordon pueden ser diseñados y fabricados según los requisitos exactos del cliente y ser enviados rápidamente.

Distribución

Como los cojinetes Thordon están especificados en todo el mundo, se ha creado una amplia red de distribución en más de 100 países. Los distribuidores locales de Thordon almacenan cojinetes de tamaños habituales y están respaldados por los grandes almacenes de existencias regionales y de la sede central de Thordon.

Ingeniería de aplicaciones

Los ingenieros de Thordon Bearings trabajan en estrecha colaboración con los clientes para ofrecer diseños de cojinetes innovadores que cumplan o superen los requisitos técnicos de la aplicación.

Fabricación

Las modernas instalaciones de procesamiento de polímeros de Thordon cuentan con personal experimentado y cualificado. Se han suministrado cojinetes de hasta 2,2 m (86") de diámetro y en las instalaciones de la compañía se pueden mecanizar cojinetes de hasta 1,5 m (60") de D.E.

Calidad

Thordon Bearings Inc. es una compañía canadiense que fabrica sus productos conforme a los requisitos del sistema de calidad ISO 9001. Con más de 40 años de experiencia en el diseño, ingeniería de aplicaciones y fabricación de cojinetes poliméricos, los cojinetes marinos e industriales Thordon son mundialmente reconocidos por su calidad y rendimiento.

Investigación y desarrollo

Los cojinetes Thordon son sometidos constantemente a pruebas en nuestras instalaciones de pruebas. En dichas instalaciones, se analizan y evalúan nuevos diseños y aplicaciones antes de ponerlos en funcionamiento. Estas pruebas constantes no solo permiten perfeccionar el diseño sino que también garantizan la calidad y rendimiento del producto tras su instalación. Nuestro laboratorio de polímeros evalúa polímeros nuevos y modificados en su afán constante por mejorar el rendimiento de los cojinetes Thordon y crear nuevos cojinetes poliméricos.

Su distribuidor autorizado de Thordon

THORDON
THORDON BEARINGS INC.

3225 Mainway, Burlington, Ontario L7M 1A6 Canadá

Tel.: +1.905.335.1440 Fax: +1.905.335.4033 E-mail: info@thordonbearings.com Web: www.ThordonBearings.com



TEBEM-ESP 03/23/A4
Impreso en Canadá