The background of the cover features several technical drawings of mechanical components, including a cross-section of a turbine or compressor stage, a long cylindrical shaft with various diameters, and a circular flange or housing. The drawings are rendered in a light blue and purple color scheme, matching the overall aesthetic of the cover. The background is a dark blue gradient with a white grid pattern.

THORNDON

Manual de Ingeniería Versión SE2008.1

SÍMBOLOS Y UNIDADES DE MEDIDA

COJINETES ELASTOMÉRICOS THORDON MANUAL DE INGENIERÍA VERSIÓN ES2008.1

Símbolos y Unidades de Medida

	Unidades	
	Métrica	Imperial
C_t = Expansión Térmica Admisible	mm	pulgadas
C_s = Absorción Admisible de Agua	mm	pulgadas
d = Diámetro de Eje	mm	pulgadas
E_o = Módulo de Elasticidad	MPa	psi
I.D. = Diámetro Interior del Cojinete	mm	pulgadas
O.D. = Diámetro Exterior del Cojinete	mm	pulgadas
L = Longitud del Cojinete	mm	pulgadas
N = Velocidad del Eje	R.P.M.	R.P.M.
P = Presión	MPa	psi
T_a = Temperatura ambiente de Taller (Medida Nominal 21°C o 70°F)	°C	°F
T_o = Temperatura funcionamiento	°C	°F
W.T. = Espesor de Pared del Cojinete	mm	pulgadas
α = Coeficiente de Expansión Térmica	cm/cm/°C	in./in./°F
μ = Coeficiente de Fricción	-	-
V = Velocidad Lineal	m/sec.	ft./min.
γ = Coeficiente de Poisson		

INSTALACIÓN POR ENFRIAMIENTO - TEMPERATURAS DE AGENTES DE REFRIGERACIÓN

Hielo Seco: -78°C (-109°F)

Nitrógeno Líquido: -196°C (-320°F)

Nota: Todas las holguras mencionadas en este manual son holguras diametrales

TABLA DE CONVERSIONES MÉTRICAS

• Longitud

1 Metro (m) = 39.37 pulgadas (in.)

1 milímetro (mm) = 0.03937 pulgadas (in.)

• Fuerza o Carga

1 Newton (N) = 0.2248 libras (lbs.)

1 Kilogramo (kg) = 2.205 libras (lbs.)

• Presión

* 1 kg/cm² = 14.223 psi (lbs./in.²)

** 1 Mega Pascal (MPa) = 145 psi (lbs./in.²)

1 N/mm² = 145 psi (lbs./in.²) = 1 MPa

1 MPa = 10.195 kgf/cm²

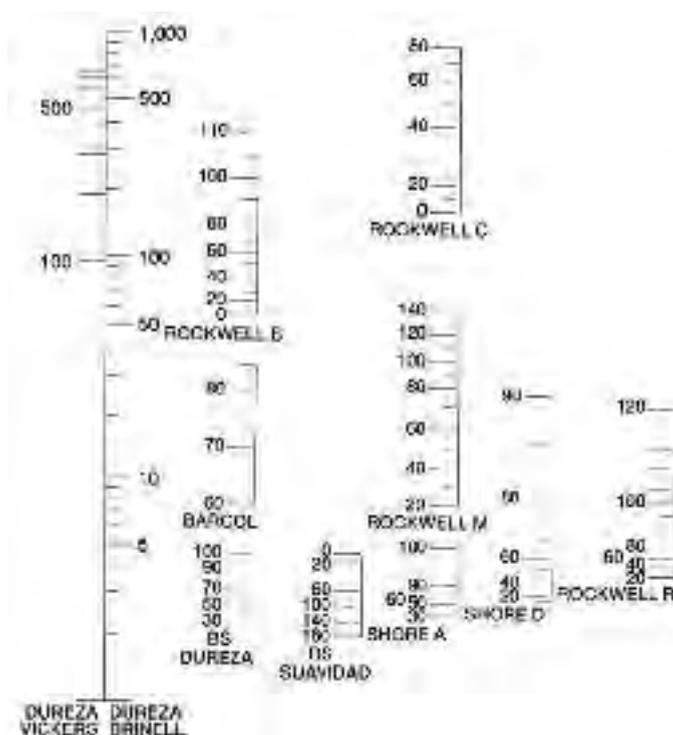
1 Bar = .981 kg/cm²

1 Mega Pascal (MPa) = 10 Bar

* Kilo = 1,000

** Mega = 1,000,000

COMPARACIÓN APROXIMADA DE VARIAS ESCALAS DE DUREZA



MÁS INFORMACIÓN TÉCNICA DE THORDON DISPONIBLE EN INGLÉS:

- Thordon Marine Bearing Installation Manual
- Thordon Bearing Sizing Calculation Program
- ThorPlas® Bearings Engineering Manual

Por favor contacte a su distribuidor o representante local de Thordon Bearings Inc para conseguir estos documentos.

ÍNDICE

1. DEFINICIÓN THORDON	2
2. TRIBOLOGÍA	
a) Fricción	3
b) Lubricación	3
c) Desgaste	5
3. PROPIEDADES FÍSICAS	
a) Comportamiento a la temperatura	7
b) Comportamiento al agua o aceite	8
c) Factor de Forma	8
d) Esfuerzo de Tracción	9
e) Rigidez	9
f) Compresión – Deslizamiento – Esfuerzo de Relajación	10
g) Esfuerzo Cortante	10
h) Resiliencia al Impacto	10
i) Histéresis	11
j) Resistencia Química	11
k) Propiedades Físicas Típicas	12
4. GUIA DE DISEÑO	
a) Análisis de Aplicación	13
b) Presión de Cojinete	13
c) Velocidad	13
d) Tablas de P.V.T.	13
e) Relación L/D	18
f) Espesor de Pared	18
g) Ranuras de Lubricación	19
h) Superficies de Contacto	19
i) Instalación (Montaje)	20
j) Tolerancias de Mecanizado	22
k) Minimizar la Holgura Inicial de Instalación	22
l) Proceso de Selección	23
m) Problemas y Causas de Fallo	25
5. DISEÑO DE APLICACIÓN	
a) Diseño de Aplicación	27
b) Interferencia	27
c) Pegado	30
d) Cierre Del Diámetro Interior	30
e) Holgura De Trabajo	31
f) Tolerancia Para Expansión Térmica	33
g) Tolerancia Para Absorción De Agua	33
h) Holgura Mínima de Instalación	34
i) Cómo usar el Programa de Cálculo Thordon	34
j) Dimensionamiento Manual	36
k) Ejemplos de Cálculos Manuales	37
l) Cálculo de Cojinete con Chaveta	38
m) Cojinetes de Alta Presión	39
n) Cojinetes para Bombas verticales: Arranque en seco	40
6. INSTRUCCIONES DE MECANIZADO y MEDICIONES	
a) Mecanizado en General	41
b) Mecanizado del XL, SXL o COMPAC	41
c) Mecanizado del Composite	46
d) Mediciones de las dimensiones y el acabado superficial	47
APÉNDICE 1	
Pegado con TG-75	49
GARANTÍA	
Garantía limitada	53

DEFINICIÓN

1) DEFINICIÓN THORDON

Thordon es un material elastómero hecho de resinas termoestables que son polímeros con estructuras entrelazadas tridimensionalmente. Thordon es una aleación de polímeros sintéticos muy dura y resistente que tiene características de rendimiento superiores a las de otros materiales usados para cojinetes tanto metálicos como no metálicos.

Thordon trabaja especialmente bien, en comparación a otros materiales, en aplicaciones donde el material está expuesto a, o sumergido en, agua, especialmente en condiciones extremadamente sucias, y donde las fuerzas de choque son un factor importante. Hay dos razones básicas para este comportamiento superior del Thordon: Primero, Thordon es un elastómero y retorna a su forma original después de haber sido comprimido o deformado bajo condiciones normales de funcionamiento, Segundo, por las características básicas del material, Thordon tiene una alta resistencia a la abrasión. Estas dos características conducen a un rendimiento excepcional y de larga vida en numerosas condiciones ambientales difíciles, o de mucha suciedad, tanto en aplicaciones marítimas como industriales.

Thordon Bearings dispone de diferentes tipos-grados que ofrecen ventajas de funcionamiento específicas en función de diferentes aplicaciones. Los distintos tipos-grados y colores son:

- XL (negro)
- SXL (blanco)
- COMPAC (naranja)
- Composite (amarillo en soporte exterior, negro en cojinete de desgaste interior conocido como GM 2401)
- HPSXL (gris)
- HPSXL TRAXL (HPSXL fundido o pegado sobre alojamiento metálico)
- ThorPlas® (azul). **Hay un manual específico del ThorPlas**

Thordon es un producto Canadiense desarrollado y fabricado por Thordon Bearings Inc., en Burlington, Ontario. Fué introducido en el mercado Canadiense en 1966. Hoy en día es vendido a través de distribuidores en Canadá, USA y otros 70 países del mundo.

Este Manual de Ingeniería se ha preparado basándose en los muchos años de experiencia de Thordon Bearings en la fabricación e instalación de los cojinetes Thordon en todo el mundo.

Esta información se ofrece como parte de nuestro servicio a los clientes **con la intención de ser usado por personas con preparación y conocimientos técnicos a su juicio y discreción.**

La compañía se reserva el derecho a cambiar o enmendar cualquier especificación sin aviso. La responsabilidad única y exclusiva de Thordon Bearings Inc. ante cualquier cliente o distribuidor de los productos de la compañía por cualquier reclamación, daño, pérdida, o responsabilidad que surja de, o en relación a, cualquier producto suministrado por la Compañía, y la garantía única y exclusiva de la Compañía estarán de acuerdo con la Garantía Limitada de la Compañía limitando a la responsabilidad especificada en la página 53 de este folleto. En ningún caso será la compañía responsable por los daños especiales, indirectos o consecuentes.

2) TRIBOLOGÍA

- a) *Fricción*
- b) *Lubricación*
- c) *Desgaste*

Tribología es el estudio científico de la fricción, lubricación y el desgaste. Viene de la palabra griega "Tribos" que significa "frotar".

a) **FRICCIÓN**

La fricción se define como una fuerza de resistencia al movimiento de un cuerpo con relación a otro con el cual está en contacto. Con Thordon, la fricción aparece cuando el eje ejerce una carga sobre el cojinete. Cuando el eje gira, la fricción entre el eje y el cojinete resiste el movimiento y por lo tanto se requiere cierta potencia para mantener el eje girando. Este par de torsión no hace ningún trabajo útil y se convierte en calor. El valor de la fuerza de fricción $F(f)$ depende del coeficiente de fricción (μ) y la fuerza normal aplicada (N). La relación es la siguiente:

$$F(f) = \mu (N)$$

Así, si la fuerza en el eje se incrementa, la fuerza de fricción se incrementa, así como el calor generado por fricción. Si el calor no se puede disipar en un gran disipador de calor o a través del lubricante, la temperatura superficial del cojinete aumentará ya que Thordon como otros cojinetes sintéticos es un mal conductor de calor, la disipación del calor de fricción es un aspecto importante a considerar en el diseño del cojinete.

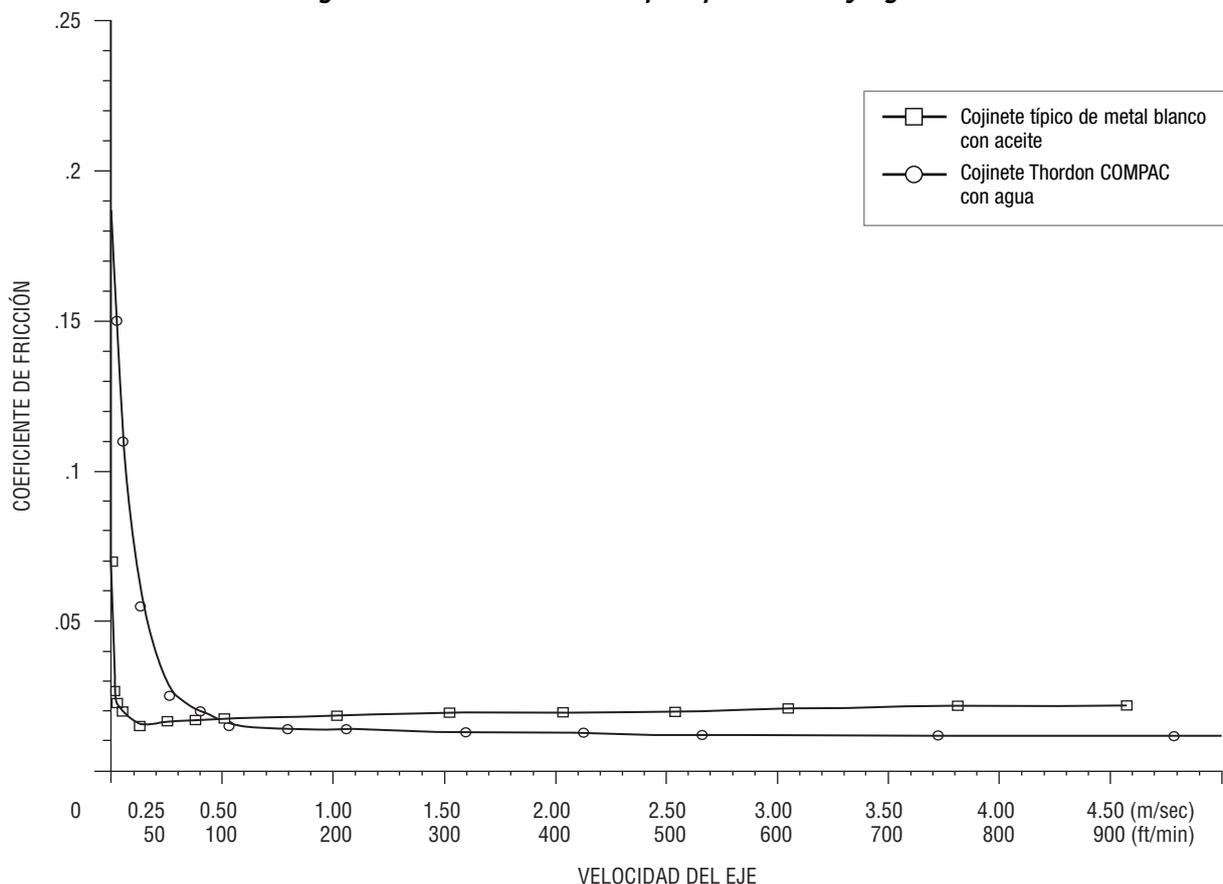
b) **LUBRICACIÓN**

i) *Lubricación Por Agua*

La fricción es casi siempre indeseable (excepto en aplicaciones como frenos, embragues y neumáticos) y conduce a menudo a problemas de sobrecalentamiento, desgaste y alto costo en funcionamiento. Una manera de reducir la fricción es recurriendo a la lubricación.

La lubricación es el acto de aplicar una sustancia, generalmente un líquido, entre dos superficies en movimiento, con el objetivo principal de reducir la fricción y el desgaste, y como objetivo secundario de disipar el calor generado. Cuando el cojinete tiene lubricación externa, la fricción llega a estar muy relacionada con la velocidad del eje y las propiedades del lubricante, como se demuestra en la figura 1.

Figura 1: Curva de Fricción Típica para Aceite y Agua



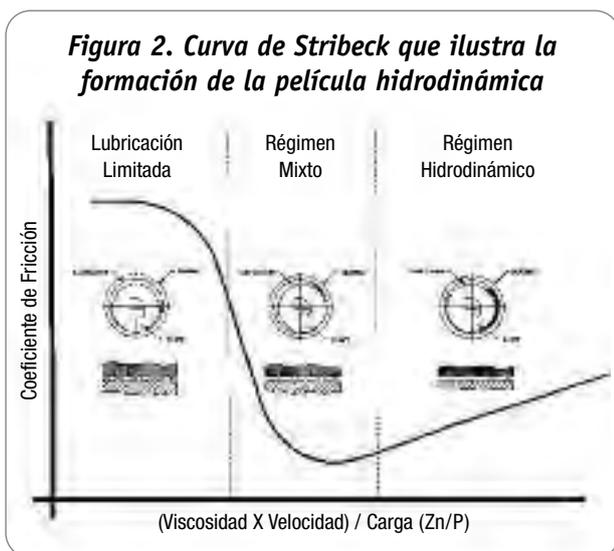
TRIBOLOGÍA

La figura 1 muestra los resultados de las pruebas efectuadas con un cojinete COMPAC lubricado por agua y un cojinete de metal blanco lubricado con aceite. El cojinete lubricado por aceite comienza con un nivel de fricción más bajo, el cual continúa bajando rápidamente hasta su punto más bajo antes de comenzar a subir lentamente.

La lubricación por agua parte con una fuerza de fricción bastante alta, debido a la pobre lubricidad del agua, y requiere una velocidad mayor para lograr una operación hidrodinámica. Esto es debido a la baja viscosidad del agua.

Una observación interesante es que en un rango de alta velocidad, la fuerza de fricción de la lubricación por agua es menor que la del aceite. Una vez alcanzada la condición hidrodinámica, la fricción aumenta. Sin embargo, la mayor viscosidad del aceite conduce a mayores esfuerzos de cortadura y a mayores fuerzas de fricción que con agua.

Esto se presenta con la típica "Curva de Stribeck" (Figura 2) que representa el coeficiente de fricción contra el parámetro hidrodinámico Zn/P . La curva se divide en tres zonas o regímenes diferenciados.



En el primer régimen (lubricación limitada), existe un contacto directo entre el eje y el cojinete resultando en unos valores de fricción altos. En esta parte de la curva el componente autolubricante del cojinete es una ventaja significativa. Cuando la velocidad del eje aumenta, nos movemos al segundo régimen de la curva donde se empieza a generar la película hidrodinámica que eleva el eje respecto al cojinete disminuyendo el contacto directo y reduciendo la fricción respectivamente. Cuando va incrementándose la velocidad del eje nos introducimos en el tercer régimen (Hidrodinámico) en que la película hidrodinámica generada elimina totalmente el contacto directo eje-cojinete. Si el incremento en velocidad continúa, la fricción empieza a crecer debido a la resistencia a esfuerzos de cortadura, lo que es una consecuencia directa de la viscosidad del lubricante usado.

La transición entre los regímenes de lubricación durante el funcionamiento de un cojinete depende en principio de las propiedades del lubricante, de la velocidad del eje y de la carga. La forma de la curva y los puntos de transición dependerán de la geometría del cojinete, de la holgura, de la auto lubricidad del cojinete y del acabado superficial. Una mayor viscosidad del lubricante se traduce en la generación de la película hidrodinámica a menor velocidad del eje y mueve los puntos de transición hacia la izquierda. Sin embargo, al incrementarse la viscosidad, se incrementa el coeficiente de fricción mínimo de funcionamiento. Bajando el coeficiente de fricción del cojinete se consigue una fricción inferior para velocidades del eje por debajo del punto en donde se genera la función hidrodinámica total. La geometría del cojinete y en particular el que el cojinete sea ranurado afecta a la curva. Un cojinete sin ranuras permite que se genere la película hidrodinámica antes que en uno con ranuras. Los cálculos hidrodinámicos muestran que se necesita una velocidad doble para generar la película hidrodinámica en un cojinete con ranuras que en uno sin ranuras.

La lubricación por líquido tiene el beneficio añadido de disipar el calor generado por la fricción, que es el enemigo de todos los cojinetes. La lubricación por agua es especialmente efectiva con Thordon ya que la baja conductividad térmica del material no deja que el calor se disipe a través de las paredes del cojinete. La lubricación líquida puede ser suministrada por diferentes métodos dependiendo de la complejidad y rendimiento. Hay sistemas por goteo (normalmente para aceite), los cuales son apropiados para velocidades lentas e intermedias donde la presencia de calor no es preocupante. Se utilizan también sistemas en baño donde el cojinete está parcialmente o totalmente sumergido en una cantidad limitada de lubricante. El factor determinante con los sistemas de baño es que el baño entero se pueda sobrecalentar si el conjunto genera demasiado calor. Un tercer método es un flujo continuo de lubricante nuevo y fresco que llegue a través de una fuente externa de flujo forzado con presión. Este método es esencial en aplicaciones de eje de cola de barco y en ejes de bombas y turbinas verticales cuando las altas R.P.M. y cargas significativas resultan en niveles de calor que no pueden disiparse mediante un baño de lubricante.

NOTA: REQUISITOS PARA EL FLUJO DE AGUA:

En una aplicación donde el cojinete Thordon está expuesto a rotación constante se requiere un flujo de agua tanto para lubricación como para enfriamiento. El flujo mínimo del agua que se recomienda es de 0.15 litros por minuto por cada milímetro de diámetro del eje (1 US galón por minuto por cada pulgada de diámetro del eje). El agua debe ser lo más fría y limpia posible. La temperatura del agua de refrigeración no debe ser superior a 40°C (104°F). En el caso de holgura de funcionamiento muy pequeño, como en algunas turbinas hidráulicas, se recomienda más flujo de agua.

ii) Grasa

La grasa es un tipo de lubricante que disminuye la fricción y forma una película de lubricación. La grasa no tiene capacidad de disipar el calor. Es necesario aplicar grasa nueva en períodos constantes para lubricar el cojinete y purgar la grasa ya usada. Se requiere lubricación periódica para evitar que trabaje en seco.

La lubricación con grasa de cojinetes Thordon se debe limitar exclusivamente a aplicaciones en ambientes muy limpios y donde el calor generado es limitado (Tabla PVT, figura 14 f).

iii) Sin lubricación-Trabajo en seco

Thordon puede ser usado como material que no necesita lubricación en aplicaciones de velocidad relativamente baja donde no es posible lubricar de forma regular o cuando partículas abrasivas pueden ser atraídas por la grasa. Thordon SXL exhibe las propiedades mejores para trabajos en seco debido a su alto contenido de lubricante en su fórmula. Esto reduce la fricción y la generación de calor. Cuando la presión sobre el cojinete supera lo aceptable para el material Thordon SXL hay que recurrir al Thordon HPSXL. Puede trabajar en seco pero no tiene tan buen comportamiento a la abrasión como el SXL. Para todavía más altas presiones de trabajo, Thordon dispone de HPSXL TRAXL, una capa fina de HPSXL fundida o pegada sobre un alojamiento metálico o también del ThorPlas®.

iv) Tablas PVT (Presión, Velocidad, Tiempo)

El método apropiado de lubricación puede ser seleccionado consultando en la sección Guía de Diseño de este manual donde se muestran las diferentes curvas de PVT (presión, velocidad, tiempo).

c) DESGASTE

Desgaste es la eliminación destructiva del material proveniente del contacto de dos superficies en movimiento. Hay innumerables factores que contribuyen al desgaste haciendo difícil la predicción del mismo. Hay dos tipos principales de desgaste:

i) Desgaste Adhesivo.

El desgaste adhesivo ocurre cuando puntos minúsculos de dos superficies ásperas se juntan unas a otras y son soldadas o pegadas quitando una partícula desgastada. El desgaste adhesivo de Thordon es mínimo a temperaturas y presiones normales, pero llega a ser el modo dominante del desgaste cuando la temperatura de trabajo llega a su límite. La máxima temperatura de trabajo para Thordon se define en función de evitar esta forma de desgaste. La cantidad de desgaste depende de la fricción entre las dos superficies, la presión en la superficie de contacto y el tipo y la cantidad de lubricante disponible.

ii) Desgaste Abrasivo

El desgaste abrasivo implica el desgaste de una superficie blanda por una partícula dura. Como ejemplos están el papel de lija o una piedra de afilar (abrasión entre dos cuerpos) o partículas de arena entre un cojinete y un eje (abrasión entre tres cuerpos). El desgaste real por abrasión variará en función de la cantidad, tamaño y forma de las partículas abrasivas.



Ejemplo típico de un cojinete con desgaste por abrasión.

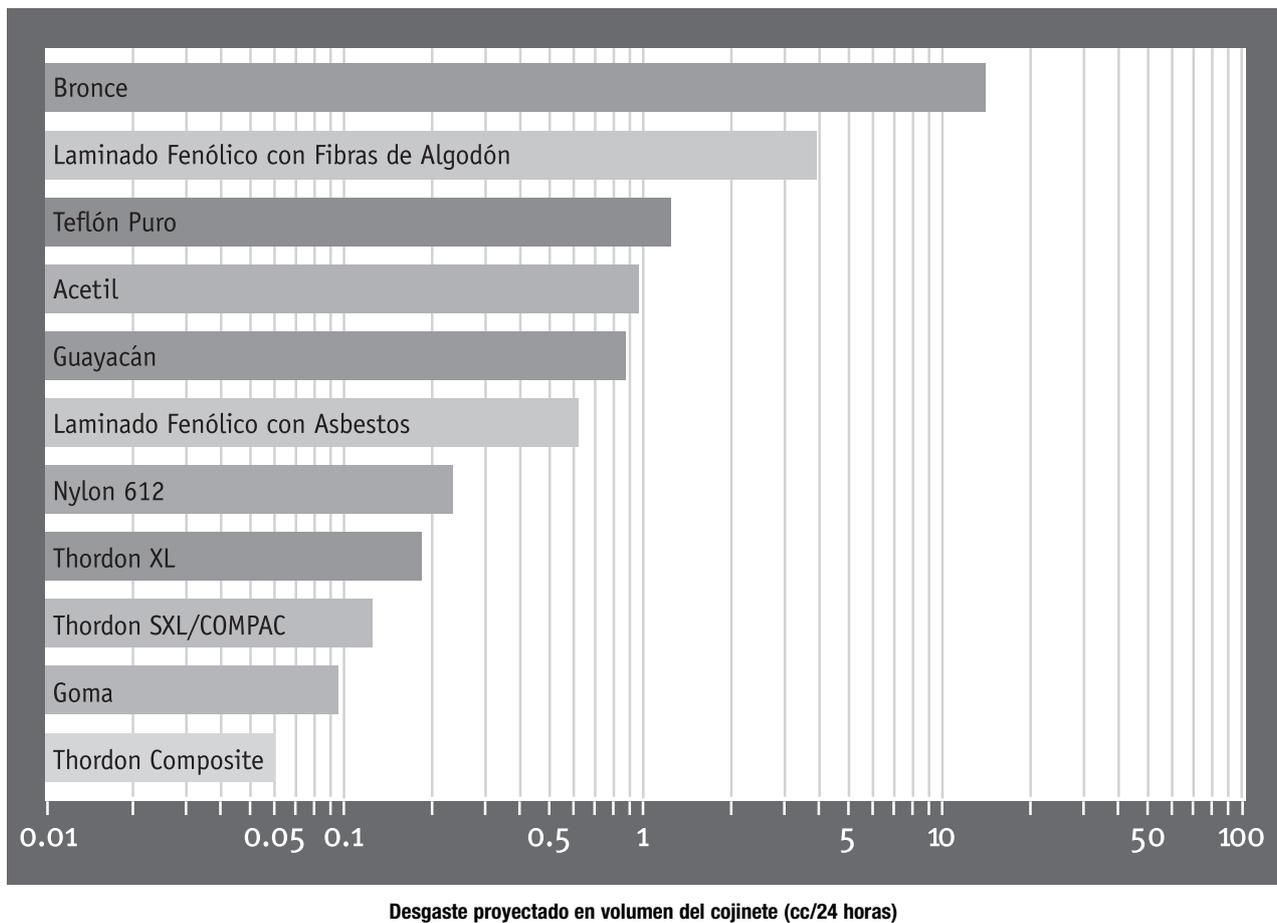
El método mejor para minimizar el desgaste abrasivo es reducir o eliminar la cantidad de abrasivos mediante la utilización de filtros, o inyectando agua limpia a presión. Si esto no es posible una solución alternativa satisfactoria para minimizar el desgaste por abrasión es tener una superficie muy dura y la otra relativamente blanda y sumisa. La naturaleza elastomérica del Thordon facilita la resistencia al desgaste por abrasión ya que el material flexa en contacto con las partículas abrasivas. Con la rotación del eje las partículas son dirigidas a las ranuras para ser evacuadas a través de ellas. Con materiales más rígidos las partículas abrasivas se incrustan en el material y pueden rayar y desgastar el eje.

Un flujo permanente de lubricante limpio (en aplicación de eje de propulsión) y ranuras en el cojinete Thordon son las idóneas para eliminar las partículas y reducir su efecto de desgaste por abrasión. En los ensayos se ha demostrado que la vida óptima para un cojinete en un ambiente abrasivo se consigue con la combinación de un eje muy duro, un cojinete Thordon Composite y una lubricación con flujo continuo y positivo de agua.

iii) Comparación del Desgaste

Ensayos exhaustivos de desgaste de Thordon y otros materiales para cojinetes se han hecho por el Laboratorio Independiente de la Universidad de Cincinnati (USA). Todos los materiales de cojinetes fueron comparados ensayándose en una máquina especialmente diseñada que utiliza material abrasivo en circulación. (Ver Nota, Figura 3). Los resultados comparativos están ilustrados en la Figura 3.

Figura 3: Ratios de Desgaste Abrasivo para Cojinetes Típicos



NOTAS: Abrasión entre tres cuerpos húmedos.

Material del eje: acero al carbono

Cojinete: I.D. 2.5cm (1 pulgada)

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

3) PROPIEDADES FÍSICAS

- a) *Comportamiento a la temperatura*
- b) *Comportamiento al agua o aceite*
- c) *Factor de Forma*
- d) *Esfuerzo de Tracción*
- e) *Rigidez*
- f) *Compresión – Deslizamiento – Esfuerzo de Relajación*
- g) *Esfuerzo Cortante*
- h) *Resiliencia al Impacto*
- i) *Histéresis*
- j) *Resistencia Química*
- k) *Propiedades Físicas Típicas*

a) COMPORTAMIENTO A LA TEMPERATURA

i) Límites de Temperatura

Todos los cojinetes están expuestos a las temperaturas del medio ambiente y al calor generado por la fricción durante su operación. Thordon, así como todos los no-metálicos, tiene baja conductividad térmica comparado con los metales, y deben tomarse precauciones para limitar el calor creado por la fricción.

La temperatura límite superior de trabajo para el Thordon en un ambiente seco es de 105°C (225°F). Por encima de esta temperatura, la superficie se ablanda y consecuentemente, el coeficiente de fricción aumenta lo que genera calor adicional. La temperatura aumenta aun más y el proceso continúa hasta que el cojinete falla.

La temperatura límite inferior en funcionamiento continuo para el Thordon es -60°C (-80°F), sin embargo, durante el montaje por contracción se utiliza nitrógeno líquido a una temperatura de -195°C (-320°F) sin que Thordon llegue a ser quebradizo en su montaje.

La temperatura límite superior de trabajo para el Thordon en un ambiente acuoso es de 60°C (140°F) debido a la Hidrólisis. La Hidrólisis se explica más detalladamente en la siguiente sub-sección b) "Comportamiento al agua o aceite". Este límite también es aplicable a otros líquidos con alto contenido acuoso. Para cojinetes lubricados con aceites de grado mineral standard el límite por temperatura superior es de 75°C (170°F).

ii) Coeficiente de Expansión / Contracción

El coeficiente de expansión / contracción térmica para el Thordon es no-lineal, como en otros materiales no-metálicos, y varía en todo el rango de temperaturas de operación. Las figuras 4 y 5 muestran resultados típicos del material Thordon presentando coeficientes de contracción menores que los de expansión.

El coeficiente de expansión térmica para el HPSXL es $12 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ ($6.7 \times 10^{-5} / ^\circ\text{F}$) y no muestra la misma falta de linealidad como el SXL, COMPAC y XL.

Figura 4: Cambio Dimensional % Vs. Temperatura – THORDON XL y COMPOSITE

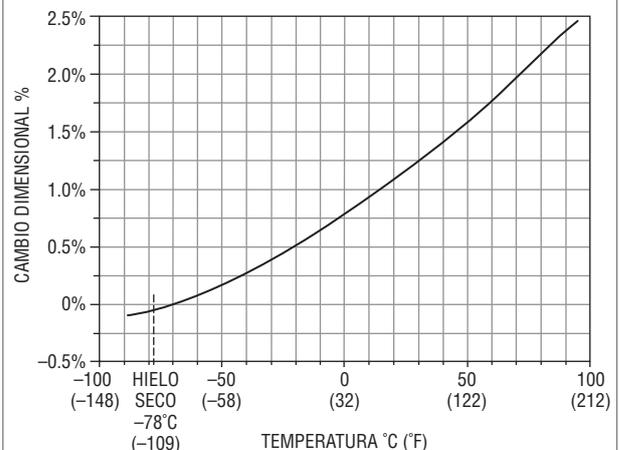
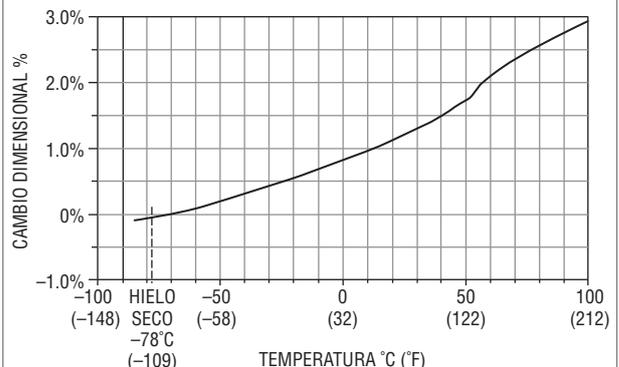


Figura 5: Cambio Dimensional % Vs. Temperatura – THORDON SXL y COMPAC



PROPIEDADES FÍSICAS

b) COMPORTAMIENTO AL AGUA O ACEITE

i) Absorción de Agua

Thordon se expande aproximadamente 1.3% en volumen bajo condiciones atmosféricas y a una temperatura de 21°C (70°F) debido a la naturaleza isotrópica de la estructura del polímero. A esta temperatura o por debajo de la misma, la expansión completa puede tardar de 6 a 18 meses dependiendo de la geometría del material.

Si la temperatura cambia, no sólo el porcentaje de absorción volumétrica cambia, pero también cambia la tasa de absorción. En pruebas realizadas usando agua a 60°C (140°F) la absorción volumétrica se aumentó a 2.0% en 100 horas.

Para determinar los efectos de la absorción de agua en el Thordon en relación con un cojinete instalado a presión en el alojamiento, se hicieron una serie de pruebas. Estas pruebas mostraron los efectos de la absorción de agua en el diámetro y en la longitud axial a 21°C (70°F). El efecto de cierre en el diámetro interior es de 0.011 multiplicado por el espesor de pared del cojinete. El efecto en aumento de la longitud axial es 0.005 multiplicado por el largo del cojinete.

ii) Hidrólisis

Cuando el Thordon está sujeto a inmersiones continuas en agua caliente, por ejemplo a más de 60°C (140°F), el material se deteriora químicamente tras un cierto período de tiempo. Este deterioro o problema es conocido como hidrólisis. La superficie del material se ablanda inicialmente y eventualmente se agrieta y se rompe. La hidrólisis se produce también con otros fluidos con alto contenido acuoso.



Ejemplo típico de hidrólisis.

iii) Absorción de aceite

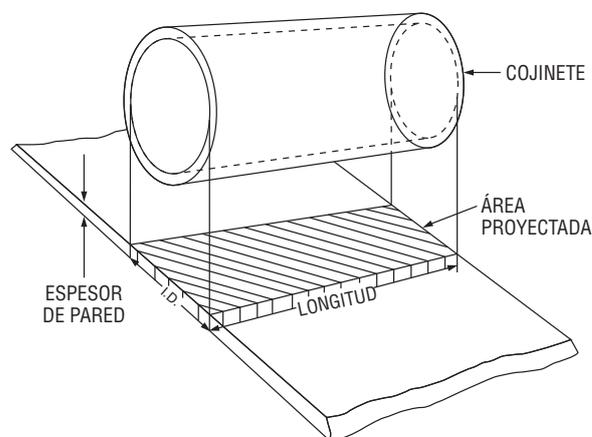
La absorción de aceite grado mineral estándar por parte del material Thordon es lento y en pequeñas cantidades sobre todo a temperaturas bajas como 22°C (72° F). Los cambios dimensionales son mínimos y su consideración es menos importante que con agua para esas temperaturas. Sin embargo para altas temperaturas hay que considerar la expansión volumétrica. Por ejemplo, a 75°C la expansión volumétrica puede sobrepasar al 2,5%.

En la práctica las expansiones volumétricas a tener en cuenta para el aceite son las mismas que para el agua. Esto en parte se debe a la baja conductividad térmica del aceite con respecto al agua. Cuando se utilice un tipo de aceite diferente como lubricante se debe hacer una prueba para comprobar la compatibilidad del Thordon con ese lubricante de aceite antes de instalar el cojinete. Thordon puede reaccionar muy diferentemente con diferentes aceites no minerales. Un cambio significativo en las dimensiones (por encima de lo que expande en agua) o un ablandamiento del Thordon tras la inmersión en el lubricante por un tiempo de 24 o más horas indica que ese lubricante no es compatible con Thordon.

c) FACTOR DE FORMA

Las pruebas de compresión de los elastómeros han determinado que las curvas de esfuerzo de tracción se ven afectadas considerablemente por la forma de la pieza. Este efecto es conocido como Factor de Forma y se determina dividiendo la superficie cargada por la superficie libre a deformarse. Para una carga determinada, si el factor de forma crece, la flexión del elastómero decrece. La capacidad de carga de un elastómero está limitada por la capacidad de flexión admisible, es decir, cuando se incrementa el factor de forma, se incrementa la capacidad del cojinete de soportar cargas más altas.

Figura 6



Cómo y cuánto el factor de forma afecta a un cojinete en forma de tubo es importante. La figura 6 indica cómo se aplica el cálculo para un cojinete restringido en un alojamiento.

$$\therefore \text{Factor de Forma} = \frac{\text{Longitud del cojinete}}{2 \times \text{Espesor de Pared}}$$

En la ecuación del factor de forma, se puede apreciar que si el espesor se reduce, el factor de forma aumenta.

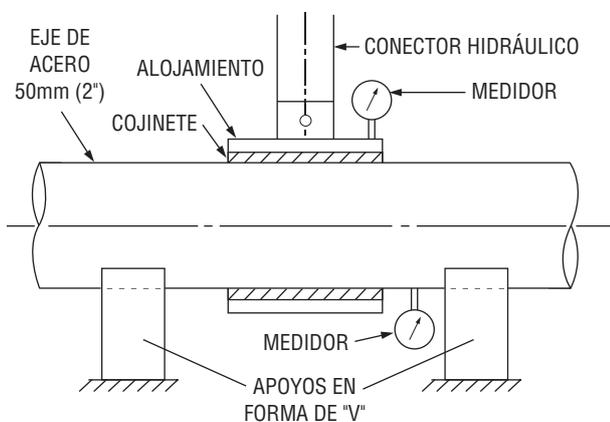
El factor de forma utilizado en la mayoría de las pruebas de Thordon es 8, con los resultados y método de prueba mostrado en la sub-sección siguiente, d) Esfuerzo de Tracción.

d) ESFUERZO DE TRACCIÓN

Cuando una carga se aplica a Thordon, éste se deforma de acuerdo a la fuerza ejercida. Generalmente, esto se refiere a compresión. Thordon, siendo un elastómero, no cambiará sustancialmente en volumen, pero sí podrá cambiar sustancialmente su forma.

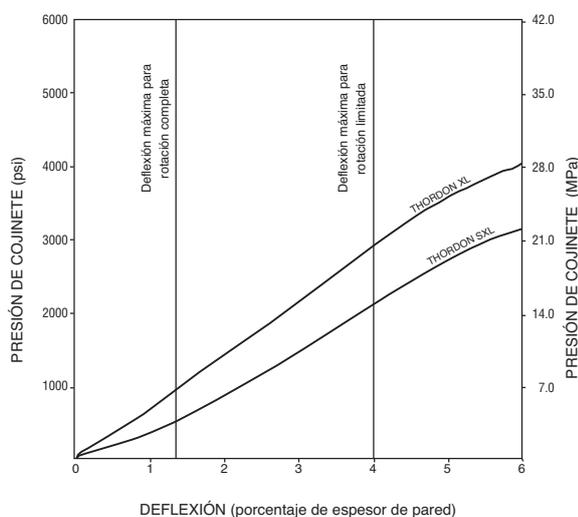
Las curvas normales de esfuerzo de tensión son determinadas experimentalmente usando un aparato de ensayos de tensión y una muestra estándar. Sin embargo, para obtener los datos más exactos al aplicar una carga sobre un cojinete Thordon, se decidió ensayar el material a compresión utilizando un cojinete macizo en un alojamiento.

Figura 7



La figura 7 muestra de qué manera se cargó el cojinete Thordon y cómo se midió la deflexión durante la prueba. Nótese que la deflexión del eje se restó de la deflexión del alojamiento para poder obtener valores netos de deflexiones en el cojinete.

Figura 8: Curvas de Esfuerzo de Tracción de Thordon



ALOJAMIENTO: 50mm (2") GROSOR DE PARED: 4.0mm (0.155")
LARGO: 65mm (2.5") FACTOR DE FORMA: 8.0

En la figura 8, se ve que la curva de esfuerzo de tensión del Thordon, durante la compresión del material, depende mucho del factor de forma del material y la posibilidad de movimiento libre sobre la superficie en contacto. Una muestra pegada soporta más carga que una muestra libre a expansión axial para una misma deflexión. Si se lubrican las superficies en contacto permitiendo al elastómero moverse libremente durante el proceso de aplicación de carga, la curva es menos inclinada (más plana) que si se tratara de dos superficies sin lubricación (en seco).

Usando un factor de forma 8, los ensayos indican un límite de deflexión máximo de 1.25% para aplicaciones de rotación completa y de 4% para movimientos oscilantes. Por encima de estos límites el comportamiento del cojinete se deteriorará. Estos límites no tienen en cuenta ningún calor de fricción generado por la rotación del eje.

Tomando en cuenta el concepto de factor de forma, por lógica podemos afirmar que es posible diseñar cojinetes Thordon capaces de operar bajo presiones muy altas. El cojinete HPSXL TRAXL de Thordon, por ejemplo, desarrolla un factor de forma mucho más alto al polimerizar una capa delgada de Thordon HPSXL en un porta-cojinete metálico. Dependiendo de las condiciones de trabajo, los cojinetes HPSXL TRAXL pueden aceptar cargas hasta 70 MPa (10,000 psi).

Thordon XL, SXL y COMPAC son elastómeros puros y, por eso, no tienen una carga última de rotura a compresión.

e) RIGIDEZ

La rigidez del cojinete depende de sus dimensiones y sus propiedades físicas. Las dimensiones del cojinete son: longitud, diámetro y espesor de pared. La característica física a considerar es el Módulo de Compresión de Young, el cual es igual a la carga de compresión dividido por la deformación.

$$\text{Rigidez} = (L \times D \times E_0) / t$$

donde: L = Longitud de Cojinete: mm (pulgadas)

D = Diámetro de Cojinete: mm (pulgadas)

E₀ = Módulo de compresión de Young: MPa (psi)

t = Espesor de Pared: mm (pulgadas)

Figura 9: Módulo de Elasticidad a Compresión (E₀)

Material	E ₀ (MPa)	E ₀ (psi)
Goma*	103	15,000
Thordon SXL	440	64,000
Thordon COMPAC	440	64,000
Thordon XL	490	71,000
Thordon HPSXL	650	94,250
Laminado Fenólico	1,730	251,000
Metal Blanco	33,500	4,860,000
Acero	206,900	30,000,000

*Goma de dureza típica para aplicaciones de cojinetes

PROPIEDADES FÍSICAS

Para cojinetes con las mismas dimensiones, la rigidez del cojinete es directamente proporcional al Módulo de Compresión de Young del material. La tabla anterior da los valores de E_0 , Módulo de Compresión de Young, para varios materiales que se utilizan normalmente en cojinetes.

Viendo la figura 9, un cojinete Thordon XL sería 4.7 veces más rígido que la goma, suponiendo que el factor de forma y las dimensiones de ambos cojinetes fueran iguales.

NOTA: Para estos cálculos se considera un factor de forma del cojinete igual a 8. Para materiales elastómeros el Módulo de Elasticidad a Compresión, E_0 , aumenta relativamente poco aún para incrementos fuertes del factor de forma. Por lo tanto, los valores de rigidez asumidos, se estiman en una banda de +/-20% para una gran variedad de factores de forma de cojinetes.

Cuando se utilizan cojinetes de goma, debido a la baja rigidez de la goma (20% a 25% de la del Thordon), los diseñadores de líneas de eje acostumbrados a cojinetes de goma, usualmente consideran el cojinete como un elemento cuya flexibilidad debe ser considerada a la hora de calcular vibraciones torsionales. Éste no es el caso con los cojinetes Thordon XL, SXL, COMPAC o HPSXL, donde debido a una rigidez mayor del material, se puede asumir que el cojinete Thordon es tan rígido como la estructura que soporta el cojinete.

f) COMPRESIÓN – DESLIZAMIENTO – ESFUERZO DE RELAJACIÓN

i) Asentamiento a Compresión

Asentamiento a compresión o asentamiento permanente es la deformación residual resultante una vez retirada la carga a compresión. Para un cojinete Thordon trabajando bajo condiciones normales el asentamiento por compresión no es ningún problema. Consúltese con Thordon si el cojinete Thordon va a trabajar con alta presión constante combinado con temperaturas superiores a 50°C (122°F).

Para disminuir el asentamiento a compresión, el factor de forma debe ser aumentado, lo cual a su vez reduce la deflexión inicial. Aumentar el factor de forma es especialmente importante cuando la presión es superior a 10 MPa (1.450 psi). En estas aplicaciones deben ser usados cojinetes HPSXL TRAXL o ThorPlas®.

ii) Deslizamiento

Cuando un elastómero está sujeto a una carga, se deformará proporcionalmente a dicha carga e inversamente proporcional al factor de forma. Un porcentaje de esta deformación continuará también con el tiempo. Este efecto es conocido como “deslizamiento”. En el rango de operación normal de los cojinetes Thordon, el deslizamiento no es un factor significativo. Así como en el caso del asentamiento a compresión, el deslizamiento debe ser considerado cuando los cojinetes son expuestos a altas temperaturas y altas presiones de trabajo. De esta manera, la cantidad de deslizamiento, así como al asentamiento a compresión puede ser controlado aumentando el factor de forma a medida que aumenta la carga, de este modo se reduce el esfuerzo a una presión dada.

iii) Esfuerzo de Relajación

El esfuerzo de relajación es el resultado directo del deslizamiento y varía dependiendo del nivel del esfuerzo. El esfuerzo de relajación es normalmente expresado en términos de porcentaje del esfuerzo remanente después de un período de tiempo especificado y a una temperatura dada. Este factor es significativo para el cálculo de cojinetes que se montan por interferencia. La interferencia debe ser suficiente para asegurar que haya fuerza de retención suficiente con el tiempo.

Por medio de ensayos, se ha comprobado que los cojinetes Thordon pueden perder su interferencia en el alojamiento cuando están sujetos a temperaturas elevadas. Para Thordon SXL y COMPAC el esfuerzo de relajación viene a ser preocupante a una temperatura de 60°C (140°F) mientras que el Thordon XL y Composite este efecto es preocupante aproximadamente a unos 80°C (175°F) de temperatura. Los cojinetes que vayan a trabajar por encima de estas temperaturas no deben montarse por interferencia. El pegado es la alternativa recomendada.

g) ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo cortante en un cojinete es función del coeficiente de fricción entre el cojinete y el eje y de la carga nominal. Cuando el cojinete se monta por interferencia la fuerza relativa de interferencia es suficiente para evitar la rotación. Si la fuerza de fricción o la carga normal se incrementa dramáticamente, por ejemplo por acumulación significativa de abrasivos, la fuerza de corte puede superar la fuerza de retención de interferencia. Por lo tanto si se dan circunstancias que incrementan el coeficiente de fricción consulte por favor a Thordon Bearings.

h) RESILIENCIA AL IMPACTO

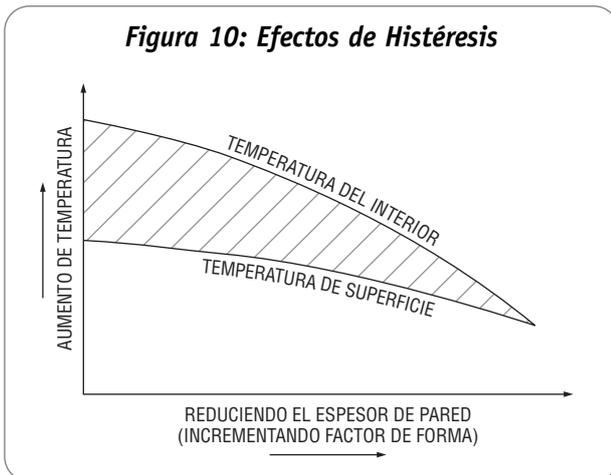
Thordon, el cual posee una alta resistencia al impacto, tiene la capacidad de absorber altas cargas de choque y su resiliencia le permite volver a su forma original. La resiliencia es definida como la relación entre la energía necesaria para recuperarse de una deformación y la energía requerida para producir la deformación. Esta combinación le permite a Thordon resistir “el martilleo” sin perder su forma, lo que ocurre frecuentemente con los metales o los plásticos resultando en fallos en operación. Thordon es un material irrompible. Aguanta cerca de 10 veces más fuerza de impacto que el nylon.

En aplicaciones donde haya cargas de impacto significativas y de baja frecuencia, el cojinete debe diseñarse con un espesor de pared más gruesa.

i) HISTÉRESIS

Histéresis es un tipo de fallo dinámico causado por flexiones a alta frecuencia. El fallo ocurre cuando el material absorbe una carga de impacto y, antes que tenga tiempo para recuperarse del primer impacto, está sujeto a un segundo impacto. El resultado es un aumento de energía en el centro del material en forma de calor. Si este calor continúa aumentando, terminará por destruir el material. Histéresis es el porcentaje de pérdida de energía por ciclo de deformación y puede ser medido como la diferencia entre el porcentaje de resiliencia y el 100%.

Thordon, debido a la naturaleza de su fórmula como polímero, está sujeto al fenómeno de histéresis. Si la aplicación que está siendo considerada expone el Thordon a cargas de impacto dinámico que pueden generar histéresis, tiene que tenerse en cuenta en el diseño para evitar dichas causas. La Figura 10 muestra que el incremento del factor de forma (reduciendo el espesor de pared) reducirá la deflexión, aumentará el grado de recuperación y reducirá la generación y aumento de calor. Un espesor de pared delgado también permite disipar mejor el calor a través del cojinete hacia el alojamiento para reducir la cantidad de calor acumulado.



j) RESISTENCIA QUÍMICA

Thordon es material no corrosivo y además es resistente al aceite, agua y a la mayoría de los productos químicos. Tampoco le afectan los lubricantes comúnmente usados en cojinetes.

No le atacan los ácidos suaves ni las sales suaves (pH 2-7), tampoco otros ambientes químicos que son dañinos para los cojinetes metálicos. Vea la Guía General de Resistencia Química de la figura 11.

Para aplicaciones críticas, se recomienda hacer una prueba por inmersión para asegurarse si Thordon es válido o no. Si se produce un ablandamiento significativo o cambios de dimensiones después de 24 horas de inmersión a la temperatura de uso, indicará que Thordon no es el material más indicado para esa aplicación.

Para más información, consulte al Distribuidor local de Thordon o a Thordon Bearings Inc.

**Figura 11:
Cuadro de Resistencia Química de Thordon**

Producto o fluido Químico	Thordon
Soluciones de sal	A
Cloruro de sodio	A
Ácidos suaves	B-D
Ácido acético	D
Ácido láctico	B
Ácidos fuertes	B-D
Sulfúrico, 5%	B-C
Sulfúrico, concentrado	D
Hipoclorito, 10%	B
Bases suaves	A-B
Amonio 10% Aq.	A
Carbonato de sodio	B
Trietanolamina	B-D
Bases fuertes	B
Hidróxido de sodio, 10%	B
Agentes oxidantes	B-C
Peróxido de hidrógeno, 1-3%	B
Ácido crómico	C
Combustible de hidrocarburos	A-B
Aromáticos – bencina, tolueno	B
Alifáticos – gasolina, grasa	A-B
Aceites lubricantes de petróleo	B
Disolventes clorados	D
Alcoholes	D
Etanol	D
Metanol	D
Quetonas	D
Metil éter acetona	D
Acetones	D
Éteres	D
Éter Dietil	D
Ésteres	D
Acetato de etil	D
Acetato de metil	D
Freón 12	A-C
Aceites vegetales	A-B

A: Excelente–ningún efecto; B: Bueno–poco efecto;
C: Limitado–efecto moderado; D: no aceptable

PROPIEDADES FÍSICAS

k) Figura 12 Propiedades Físicas Típicas – Métricos e Imperiales¹

Propiedad ²		XL	SXL	HPSXL	COMPAC	Composite (GM2401)
Coeficiente de rotura ³ ASTM D-412	MPa	35	37.5	40	37.5	17
	psi	5000	5450	5800	5450	2500
Dureza Nominal (Shore D) ASTM D-2240		73	67	76	67	43
% Elongación - ASTM D-412		70	150	70	150	265
Módulo de Young (a tracción)	MPa	850	605	925	605	-
	psi	123 000	88 000	134 000	88 000	-
Ratio de Poisson		~ 0.45	~ 0.45	~ 0.45	~ 0.45	~ 0.45
Impacto Izod-con muesca Joules/m Promedio ASTM D-256	ft-lb/in	~ 150	~ 500	-	~ 500	{ Muestra no se rompió
		~ 3	~ 9	-	~ 9	
Peso específico		1.21	1.16	1.28	1.16	1.10
Conductividad térmica	W/m-k	~ 0.25	~ 0.25	~ 0.25	~ 0.25	~ 0.25
	Btu/hr-ft-F	~ 0.14	~ 0.14	~ 0.14	~ 0.14	~ 0.14
Capacidad térmica	KJ/kg-k @ 30°C	~1.5	~1.5	~ 1.5	~1.5	~1.5
	Btu/lbm-F @ 86°F	~ 0.36	~ 0.36	~ 0.36	~ 0.36	~ 0.36
Coeficiente de expansión térmico x 10 ⁻⁵ (°C) or (°F)				(-20°C < T < 80°C) (-4°F < T < 176°F) 12 x 10 ⁻⁵ °C or 6.7 x 10 ⁻⁵ °F		
	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	
Expansión volumétrica (%) @ 20°C -agua -TL3G/Aceite/Grasa		1.3	1.3	1.3	1.3	~1.3
Asentamiento a compresión (%) Ref. ASTM D395 método B		-	-	-	-	27%
Coeficiente de fricción				< 200 Bar < 3000 psi	> 200 Bar > 3000 psi	
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
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		SE ⁴	SE	SE	SE	SE
Temperatura de funcionamiento Min. / Max.						
Seco ⁵	°C	-60/107	-60/107	-60/107	-60/107	
	°F	-76/225	-76/225	-76/225	-76/225	
Húmedo	°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	/75	
	°F	/167	/167	/167	/167	
Notas:						
¹ “~” indica valores estimados basados en pruebas en fábrica de este material o materiales similares.						
² Todas las pruebas para lograr los datos indicados arriba fueron hechos bajo condiciones controladas en nuestro laboratorio para asegurar unos datos relativos lo más precisos posible. Tenga en cuenta que el comportamiento a compresión es menos importante para materiales no metálicos que para los metálicos. Ésta es especialmente importante para cojinetes no metálicos cargados a compresión.						
³ Los valores de la carga de Rotura a compresión están basados en el valor medio de lotes de producción observados durante los últimos 10 años para XL, SXL y GM2401 (5 años para HPSXL).						
⁴ SE — auto extingüible						
⁵ Material que trabaje en seco a temperaturas superiores a 60°C (140°F) tiene que ser fijado con un mecanismo apropiado. Debe revisar estas aplicaciones con Thordon Engineering para su aprobación.						

4) GUÍA DE DISEÑO

- a) *Análisis de Aplicación*
- b) *Presión de Cojinete*
- c) *Velocidad*
- d) *Tablas de P.V.T.*
- e) *Relación L/D*
- f) *Espesor de Pared*
- g) *Ranuras de Lubricación*
- h) *Superficies de Contacto*
- i) *Instalación (Montaje)*
- j) *Tolerancias de Mecanizado*
- k) *Minimizar la Holgura Inicial de Instalación*
- l) *Proceso de Selección*
- m) *Problemas y Causas de Fallo*

a) ANÁLISIS DE APLICACIÓN

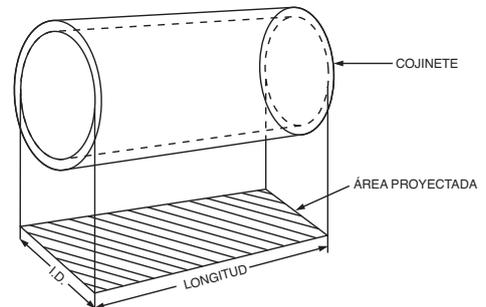
Para analizar las posibilidades en cualquier aplicación, una información amplia y detallada de la aplicación debe ser revisada y evaluada correctamente. La siguiente lista presenta los conceptos a tener en cuenta, algunos ya detallados en secciones anteriores y otros a analizar en esta sección.

- Medio Ambiente
 - (i) Temperatura (ii) Abrasivo o Limpio
- Presión
- Velocidad Tangencial
- Tipo de Lubricación
- Medidas
- Método de Retención para evitar desplazamientos
- Material Usado Anteriormente y Problemas presentados
- Superficie de Contacto
- Vida Requerida
- Ciclo de Trabajo
- Holgura inicial requerida

b) PRESIÓN DE COJINETE

La presión del cojinete se calcula dividiendo la carga radial por la área proyectada o sección transversal. La área se determina multiplicando el diámetro interior del cojinete por la longitud del cojinete, ver Figura 13. El dividir la carga por el área proyectado nos da una presión aproximada suponiendo que la presión actúa de forma uniforme sobre el área. En realidad, la presión máxima es en la posición del punto más bajo (las 6 del reloj) y disminuye en una curva parabólica hasta cero cuando el eje deja de tener contacto con el cojinete. Por lo tanto es útil, bajo el punto de vista de capacidad de carga, mantener la holgura de trabajo al mínimo.

Figura 13: Presión Sobre Cojinete



La carga radial necesita ser definida ya sea como una carga máxima de diseño, carga normal de trabajo o una combinación de cargas estáticas y cargas de impacto. Además, es necesario determinar si la carga es constante o cíclica. Todos estos factores deben ser analizados en el proceso de selección del grado de material como se indica en la sub-sección 4(a).

$$\text{Presión de Cojinete} = \frac{\text{Carga Radial}}{\text{Área Proyectada}} = \frac{\text{Carga}}{\text{Longitud} \times \text{I.D.}}$$

c) VELOCIDAD

La velocidad de deslizamiento o velocidad tangencial del eje es un factor importante en el diseño. La velocidad es parte de la fórmula usada para determinar el calor por fricción y es calculada por la ecuación siguiente.

$$V \text{ (m/s)} = \frac{\pi \text{ dN}}{60 \times 1000} = \frac{\text{dN}}{19,100}$$

o

$$V \text{ (pies por minuto)} = \frac{\pi \text{ dN}}{12} = 0.262 \text{ dN}$$

donde

V = Velocidad tangencial

d = Diámetro de Eje – milímetros para el Sistema Métrico y pulgadas para el Sistema Imperial

N = RPM de eje

π = pi constante 3.1416

d) TABLAS DE P.V.T.

Cualquier análisis del cojinete deslizante está siempre basada en tres factores. Presión, Velocidad y Tiempo (PVT) son factores individuales que son imposibles de separar cuando se selecciona un material de cojinete ya que el calor generado es proporcional a los tres tal como se muestra en la relación siguiente:

$$H \sim PV\mu T$$

donde

H = Calor o Incremento de Temperatura

P = Presión

V = Velocidad

μ = Coeficiente de Fricción

T = Tiempo

GUÍA DE DISEÑO

Para evaluar una aplicación, es necesario conocer el ciclo de trabajo. ¿Cuánto tiempo funciona diariamente, por ejemplo 8 horas, 24 horas o arranques y paradas en forma constante? ¿Hay rotaciones completas, lo cual se especifica normalmente en RPM, o movimientos oscilatorios en un ángulo limitado? ¿Hasta que ángulo y con qué frecuencia ocurre el movimiento y cuántas horas al día (ciclo del trabajo)? Todos estos factores juegan un papel en la determinación de la cantidad de calor por fricción bajo presiones definidas.

Sin embargo, si el calor de fricción generado es disipado mediante un flujo suficiente de lubricante de enfriamiento, ya sea agua, aceite u otro líquido; los cojinetes Thordon funcionarán correctamente a velocidades mucho más altas de los límites indicados en los gráficos P.V.T.. Aplicaciones típicas donde esto ocurre son los cojinetes de eje de propulsor de barcos y cojinetes de eje de bomba vertical en donde un caudal constante de agua es suministrado. El mínimo caudal de agua de refrigeración recomendado para cojinetes Thordon es de 0.15 litros/minuto/mm (1 US Gal/ min/pulg.) del diámetro del eje.

Las tablas de PVT. (Figuras 14 (a)-(f)) han sido desarrolladas por Thordon Bearings Inc. como una guía del ingeniero de diseño para la selección correcta del grado de Thordon para presiones, velocidades y tiempos específicos. Las curvas han sido desarrolladas usando la técnica de presión escalonada, donde los materiales son probados a una presión bajo diferentes velocidades siendo el factor límite la temperatura del cojinete. La temperatura límite fijada para todos los grados de Thordon durante las pruebas fue de 82°C (180°F), medida en el diámetro exterior del cojinete, excepto para las pruebas en contacto con agua en cuyo caso la temperatura límite fue de 60°C (140°F) para evitar la hidrólisis. Cuando se alcanzó la temperatura límite se paró la prueba y se registró el tiempo transcurrido. La muestra se enfrió hasta la temperatura ambiente antes de que se repitiera la prueba a otra velocidad. Las pruebas se ejecutaron usando cojinetes con un factor de forma igual a 4.

Para usar las tablas, escoja el tipo de lubricante más cercano a su aplicación. Localice el valor de la velocidad tangencial de su aplicación y donde se corte con la curva de trabajo más cercana a su presión, lea el tiempo necesario para alcanzar la temperatura límite. Si el tiempo requerido para su aplicación es menor que este valor, entonces esta aplicación es válida para el grado de Thordon seleccionado. Si no, necesita seleccionar un grado diferente de Thordon o mejorar la lubricación o el tipo de enfriamiento suministrado.

Los gráficos de PVT para aceite y agua fueron desarrollados usando un baño de aceite o agua sin ningún flujo del líquido ni enfriamiento. Si el sistema se puede diseñar para incorporar un flujo forzado de lubricante en vez de un baño, una mayor cantidad de calor generado por fricción será disipada por el flujo del lubricante. Una vez que el cojinete está operando bajo condiciones hidrodinámicas, no hay calor adicional generado por fricción a medida que la velocidad aumenta, aunque se produce un ligero incremento en la fricción de arrastre del lubricante. Sin embargo, este aumento es tan bajo que no afecta en el funcionamiento del cojinete.

En condiciones de caudal forzado de agua de refrigeración, los límites de los gráficos no son aplicables. El eje de cola de un barco que usa como lubricante un flujo de agua o aceite es una aplicación típica de esto.

Los gráficos PVT son orientativos solamente. Thordon ha sido especificado con éxito en muchas aplicaciones con PVT que salen fuera del rango de los diagramas. Por ejemplo, Thordon SXL se ha incorporado en varios diseños de bombas verticales donde funcionan en seco por períodos de tiempo que exceden un minuto y a una velocidad mucho más alta que la indicada en los gráficos.

NOTA 1: Se aconseja que para aplicaciones potenciales que caen fuera de los Gráficos PVT, avise a su distribuidor de Thordon o Thordon Bearings Inc.

NOTA 2: Valores de PV dados por muchos fabricantes de materiales no metálicos a menudo son publicados con varias suposiciones erróneas. La primera es que los valores individuales del P y el V tienen poca validez, con tal que estén dentro del rango del producto. La segunda, y quizás la más peligrosa, es la cantidad limitada de tiempo de prueba que se ha usado para desarrollar los valores de P y V. No toman en cuenta con rigor el factor tiempo. Los cuadros de PVT de Thordon ilustrados en la Figura 14 muestran que el calor generado por fricción toma su tiempo en generarse.

NOTA 3: Estos gráficos están basados en resultados de laboratorio. Los resultados en aplicaciones reales pueden variar.

NOTA 4: Estos valores indicados son orientativos. Los límites de PV para cualquier material varían con las diferentes combinaciones de presión y velocidad así como con otras condiciones de prueba.

Figura 14a: Tabla PVT para XL – Lubricación: Seco

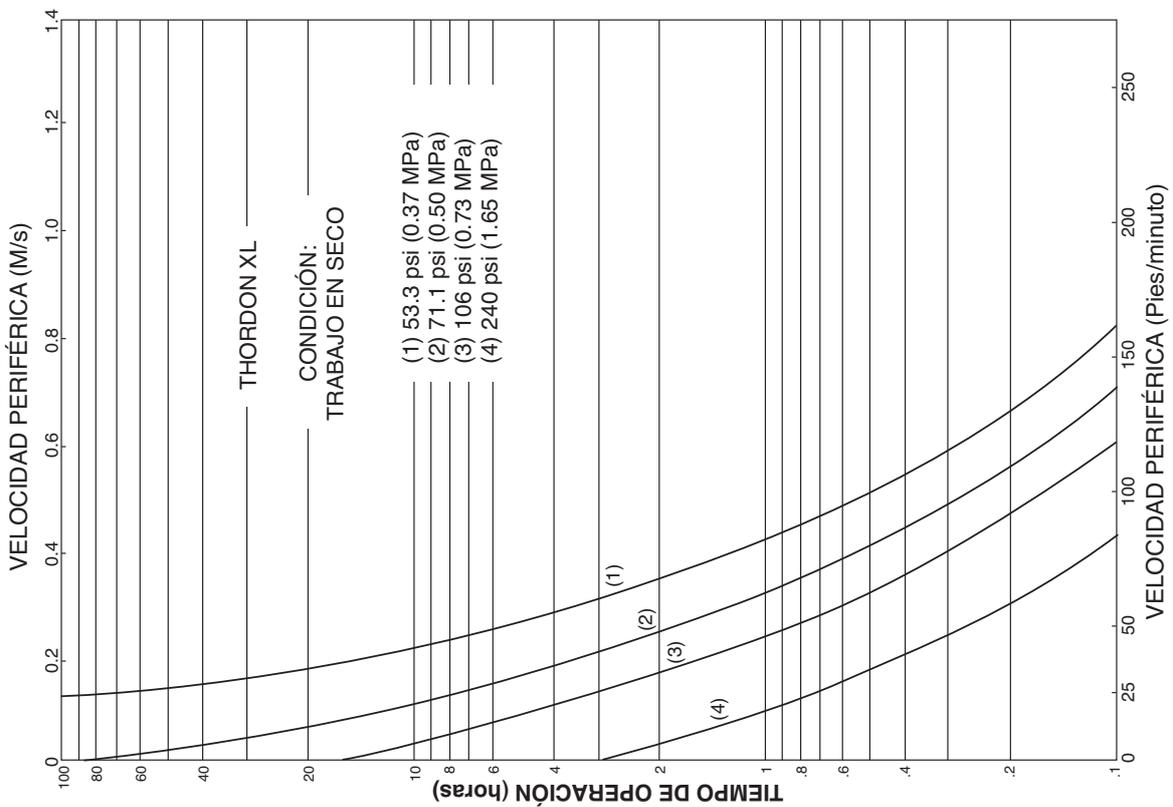
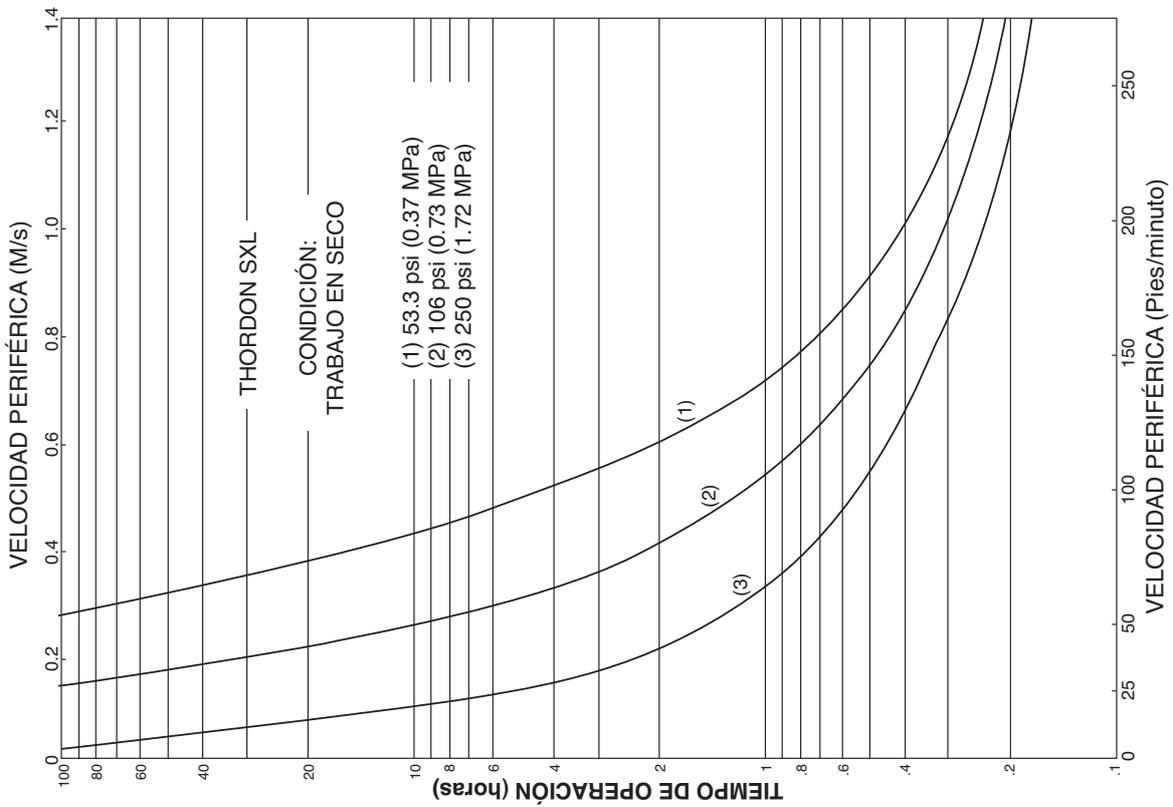


Figura 14b: Tabla PVT para SXL – Lubricación: Seco



NOTA: Estas pruebas se efectuaron con un cojinete con un factor de forma de 4.

Figura 14c: Tabla PVT para XL – Lubricación: Baño de agua

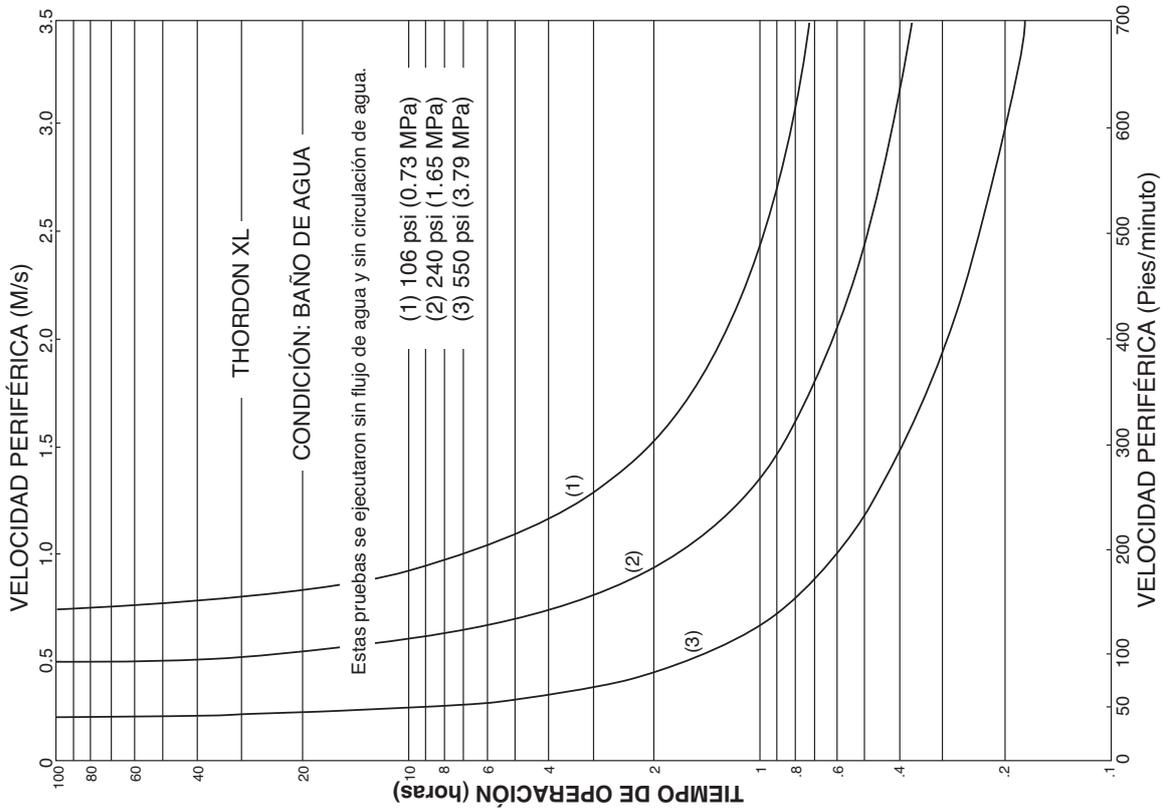
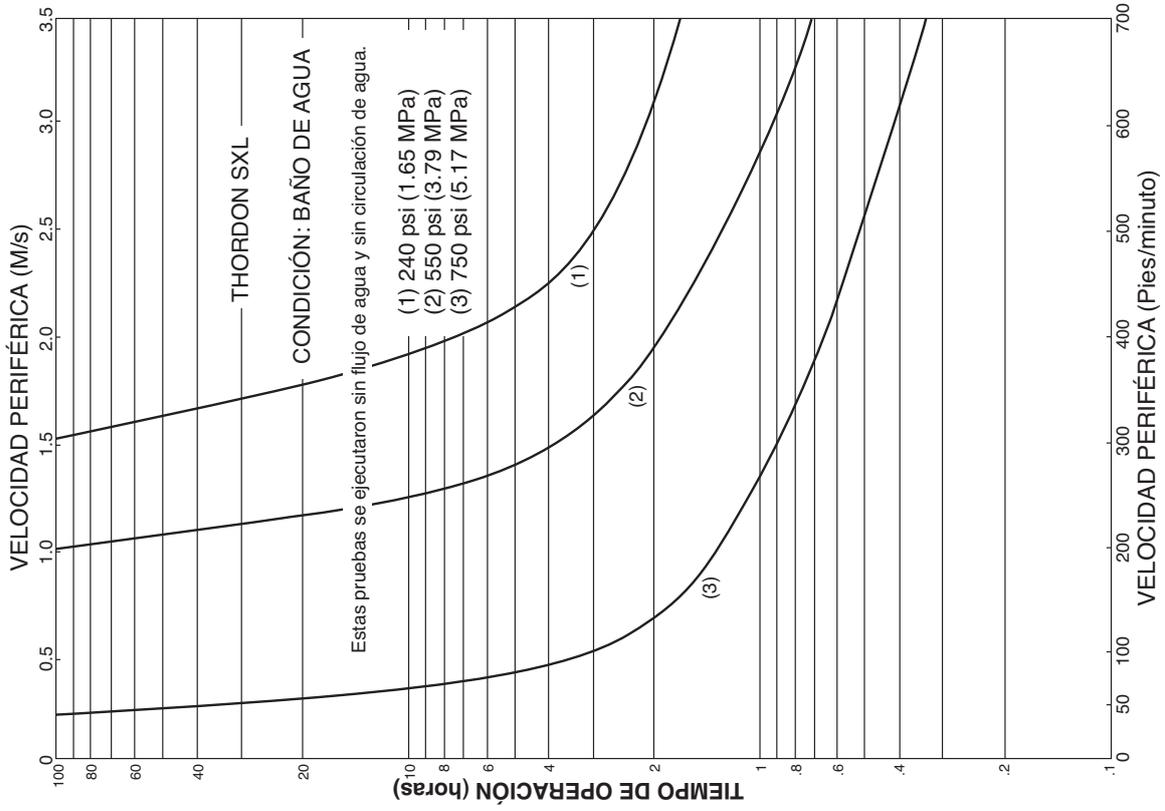


Figura 14d: Tabla PVT para SXL – Lubricación: Baño de agua



NOTA: Estas pruebas se efectuaron con un cojinete con factor de forma de 4.

Figura 14e: Tabla PVT para XL y SXL – Lubricación: Baño de Aceite

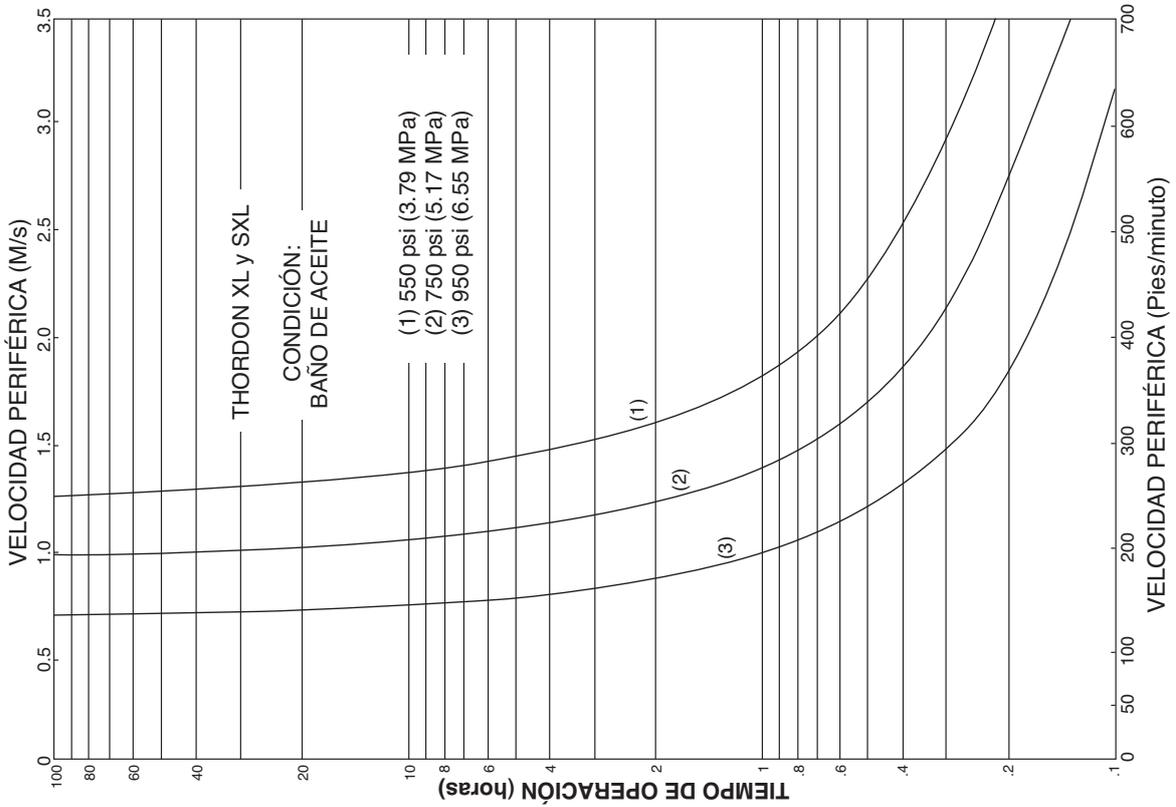
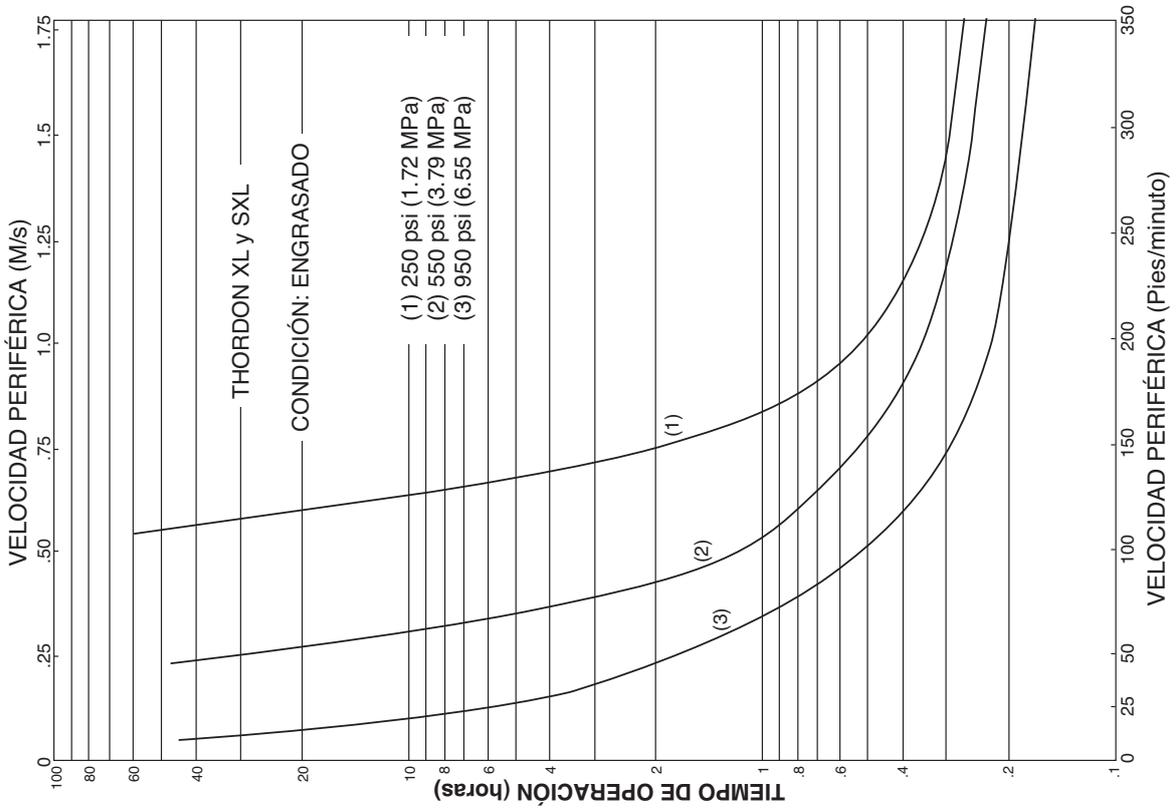


Figura 14f: Tabla PVT para XL y SXL – Lubricación: Grasa



NOTA: Estas pruebas se efectuaron con un cojinete con factor de forma de 4.

GUÍA DE DISEÑO

e) RELACIÓN LONGITUD/DIÁMETRO (L/D)

La relación L/D para un cojinete típico industrial varía de 1:1 a 1.5:1. Esta es la proporción óptima que permite alineación y montaje sencillos.

En las aplicaciones marinas de cojinetes lubricados por agua, la relación L/D ha sido históricamente 4:1 para reducir la presión en el cojinete por ejemplo, 0.25 MPa (34 lb/pulg²). Sin embargo, considerando la sobrecarga de la hélice de propulsión, la distribución de la presión tiende a ser más alta cerca de la hélice y casi cero en el otro extremo. En funcionamiento, esta alta relación L/D tiende a crear más fricción o a arrastrar el eje. Esto es porque la parte delantera del cojinete no está soportando el eje y crea una turbulencia innecesaria del agua. Puede incluso haber contacto entre eje y cojinete en la parte alta (12 del reloj) del cojinete en su parte delantera. La relación 2:1 L/D fue probada con Thordon bajo las mismas condiciones que la relación 4:1 y se encontró que genera menos fuerza de fricción. Como consecuencia de estas pruebas conjuntamente con el estímulo de las entidades clasificatorias, se desarrolló el sistema de cojinete Thordon COMPAC.

En la mayoría de aplicaciones, donde la carga del cojinete es uniforme, una relación L/D más alta reducirá la presión y mejorará la vida de los cojinetes. La alineación se hace más difícil, pero si la presión es demasiado alta, un aumento en la relación L/D puede ser necesaria. Para cojinetes para eje de cola COMPAC el ratio L/D no debe ser mayor a 3/1. Se establece este límite para evitar problemas con la distribución de agua de refrigeración a cojinetes demasiado largos girando a velocidades relativamente altas.

Para aplicaciones de presión muy alta y con velocidad de rotación baja se debe considerar un cojinete Thordon HPSXL TRAXL o ThorPlas.

f) ESPESOR DE PARED

En una aplicación donde Thordon es especificado para sustitución de un cojinete existente la configuración existente condiciona el espesor de pared del cojinete.

Si el espesor de pared del cojinete Thordon resultante fuese excesivo, se puede usar el cojinete Thordon conjuntamente con una camisa de metal en el alojamiento o sobre el eje. Cualquiera de estos métodos permitirá una reducción en el espesor de pared del cojinete. Si la camisa se usa en el eje, resultará un beneficio adicional, ya que debido al aumento del diámetro efectivo del eje y del diámetro interior del cojinete la presión disminuye.

El grado de **Desgaste Permisible** antes que un cojinete se "gaste" también es un factor importante para determinar el espesor de pared. La holgura máxima permitida y otros factores externos también entran en esta consideración. En cojinetes con ranuras el máximo desgaste admisible debe ser inferior a la profundidad de la ranura.

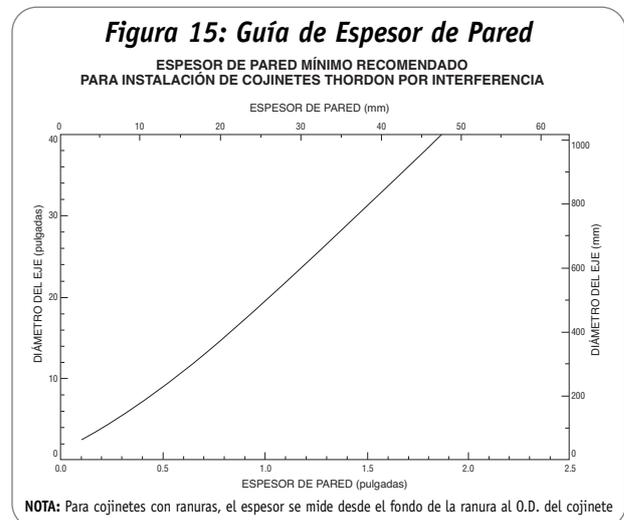
Debido a la naturaleza elastomérica del material, un cojinete Thordon debe ser apoyado en toda su longitud. Un cojinete no apoyado virtualmente no soportará ninguna carga.

Si el espesor de pared puede ser especificado en el diseño, generalmente se prefiere usar un espesor de pared delgada. Las holguras y tolerancias por lo general se pueden reducir, se mejora la disipación de calor y la carga máxima permisible

es mucho mayor. Hay algunas aplicaciones, sin embargo, como las de cargas a impactos con baja frecuencia donde el efecto de amortiguación de un cojinete con un espesor de pared más grueso mejorará su rendimiento. Por favor consulte a su distribuidor Thordon o a Thordon Bearings Inc. si necesita más información al respecto. Si se conocen los detalles de la aplicación su interlocutor de Thordon le recomendará el espesor de pared ideal. El Programa de Cálculo de Thordon también le suministra este dato.

Guía del Espesor de Pared Mínimo Recomendado para Instalaciones por Interferencia

El mínimo espesor de pared recomendado para un cojinete Thordon instalado con interferencia aparece en la Figura 15. Los valores mostrados se basan en las presiones de interferencia entre el cojinete y el alojamiento. Al aumentar el espesor de pared o la interferencia, aumentará la presión. Tanto en cojinetes ranurados como no ranurados, el espesor de pared del cojinete que forma una capa continua de contacto con el alojamiento es el único material a considerar en los efectos de interferencia. Con cojinetes ranurados el espesor mínimo de pared tendrá que ser mayor que en los no ranurados, por un valor equivalente a la profundidad de las ranuras, ya que solamente la superficie sin ranuras es la que se considera para la interferencia. Con cojinetes de grado Composite, sólo el espesor de pared del material amarillo es considerado para cálculos de espesor de pared mínimo. La superficie de soporte de carga (GM2401) es muy suave y no lo suficientemente rígida para contribuir al efecto de presión de interferencia.



Si un cojinete Thordon va a reemplazar a otro cojinete existente y el espesor de pared está por debajo del mínimo recomendado hay dos opciones. El cojinete puede ser pegado, o, en algunos casos, se puede aumentar la interferencia para elevar la presión a un nivel aceptable. Por favor, consulte a su distribuidor Thordon o a Thordon Bearings Inc. para información adicional si el nivel de interferencia debe ser aumentado.

NOTA 1: Lo anteriormente expuesto es válido solamente para Thordon XL, SXL, COMPAC y Composite. No se puede aplicar al HPSXL. **El Thordon HPSXL no se recomienda montarlo por interferencia. Se recomienda siempre montarlo por pegado.**

g) RANURAS DE LUBRICACIÓN

Para aplicaciones con un caudal de lubricante que circula por la superficie del cojinete como en el caso de las bombas verticales o ejes de propulsión, las ranuras de lubricación se mecanizan o moldean en el interior del cojinete para facilitar el flujo de lubricante a través del cojinete. Asimismo las ranuras son un canal por el que pasan las partículas abrasivas. El número, la profundidad y la anchura de las ranuras cambian en función del tamaño del cojinete, su configuración y el espesor disponible. Dichas ranuras son normalmente de 7 mm de profundidad (0,27") para diámetros de eje de 400 mm (16") o más, pero nunca deben ser más profundas que la mitad del espesor de pared del cojinete. La anchura de la ranura es generalmente la misma que la profundidad de la misma, pero se puede incrementar dicha anchura si la profundidad es muy limitada para asegurar suficiente caudal de agua. El programa de cálculo de Thordon nos define el número y las dimensiones de las ranuras para cualquier aplicación en función de las dimensiones del eje y el alojamiento. **Si requiere más información sobre ranuras contacte al distribuidor de Thordon, o a Thordon Bearings Inc..**

h) SUPERFICIES DE CONTACTO

Los materiales normalmente utilizados en los ejes proporcionan una superficie de contacto adecuada para trabajar con los cojinetes Thordon. Si la corrosión no es un problema, el acero al carbón es utilizado comúnmente, pero, si la corrosión representa un problema, entonces se deberá usar una camisa de bronce en el eje. Bronces comunes que trabajan bien son el Gun-metal (88% Cu, 10% Sn and 2% Zn) o 70-30 cobre níquel. Níquel Aluminio Bronces no se recomiendan ya que la experiencia ha demostrado que pueden conducir a ratios de desgaste altos. Tampoco se recomienda Aluminio o Titanio.

Figura 16: Dureza superficial de los Materiales Utilizados Normalmente para trabajar enfrentados al Thordon¹

Material	Dureza			Comentarios
	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 – Sumergido en aceite desde 1010°C y templado
Acero Inoxidable S17400	31 33 a 44	(106) (108 a 114)	(294) (311 a 409)	Recocido – Sumergido en agua desde 1038°C y templado
Acero Inoxidable S30400	N/A	81	(153)	Recocido
Bronce "Gunmetal" (G1) ³ C90500	N/A	N/A	70 a 95	
Bronce "Gunmetal" recargado con plomo (LG4) C92200	N/A	N/A	70 a 85	
Bronce 70/30 cobre/níquel 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	Tratamiento superficial

Notas:

¹El propósito de esta lista de valores de dureza es para referencia rápida. Consultar literatura técnica adecuada para información más concreta.

²Ver "Stainless Steel, ASM Specialty Handbook" editado por J.R. Davis, 1994, ISBN:0-87170-503-6 para detalles de aceros inoxidables.

³Ver "Standards Handbook", Cast Copper and Copper Alloy Products, publicado en 1996 por "Copper Development Association Inc." 260 Madison Avenue, New York, NY10016, U.S.A. para detalles de bronce.

⁴El número entre paréntesis fue convertido del número sin paréntesis utilizando tablas de conversión y es sólo para el propósito de comparación.

⁵La escala "BRINELL" utilizado en esta tabla es BHN 3000kg.

El acero inoxidable también se utiliza con frecuencia en camisas de ejes para trabajar con cojinetes Thordon. Si hay mucha abrasión los aceros inoxidables más suaves como el AISI 304 no se recomiendan. Similarmente, los tipos más suaves del sistema de eje Aquamet tampoco se recomiendan si el eje está expuesto a una abrasión significativa. Los grados de acero inoxidable más duros o el Inconel 625 son los preferidos por Thordon. Algunos fabricantes utilizan, en vez de la camisa, aceros inoxidables o Inconel 625 soldado en espiral sobre la longitud total del eje o solamente en el área donde trabajan los cojinetes.

En cualquier aplicación donde el cojinete está expuesto a condiciones muy abrasivas, la combinación de superficies óptimas de contacto es el eje más duro posible junto con el material más blando del cojinete que soportará la carga. Para abrasivos muy agresivos la solución recomendada por Thordon es cojinete Thordon Composite con un tratamiento superficial del eje o camisa del eje de dureza mínima Rockwell C 40. En general los materiales de cojinetes más blandos como es el caso de Thordon tienden a gastar menos el eje y asimismo presentan menos desgaste combinado entre el eje y el cojinete.

El eje más duro y el cojinete más blando es la combinación ideal para un desgaste combinado mínimo en ambiente abrasivo severo. Si el eje es cambiado a un material más suave o si el cojinete es cambiado a un material más duro, el desgaste combinado aumentará. Si el ambiente contiene menos abrasivos, entonces la necesidad de tener el material más duro del eje o el material más blando del cojinete disminuye. En este caso, otros requerimientos como el más bajo coeficiente de fricción toman más prioridad durante la selección del grado Thordon.

En un ambiente limpio con lubricación (lo que se da solamente en la teoría) cualquier combinación resultaría válida. Sin embargo, el concepto de un cojinete más suave que la superficie del eje es siempre una buena guía. Hacer trabajar en contacto dos superficies del mismo material es muy peligroso y debe evitarse siempre. No opere o trabaje un cojinete Thordon en contacto con una camisa de eje hecha de Thordon.

El acabado superficial del eje debe ser suficientemente pulido para limitar el desgaste de contacto inicial. Se ha comprobado que teniendo un eje más pulido reduce el calor generado por fricción y aumenta los límites de PVT. Thordon trabaja de forma satisfactoria contra una superficie de eje mecanizado a acabado superficial normal. Para obtener un trabajo óptimo, se recomienda un acabado final de la superficie de 0.4 a 0.8 micro-metros Ra (16 a 32 micro-pulgadas). Unos acabados superficiales de hasta 1.6 micro-metros Ra (63 micro-pulgadas) trabajarán en forma satisfactoria.

i) INSTALACIÓN (MONTAJE)

Los cojinetes Thordon XL, SXL, COMPAC y Composite se montan normalmente usando una instalación por interferencia. La instalación es rápida y sencilla, especialmente cuando se usa montaje por enfriamiento. Thordon puede ser pegado en el alojamiento, usando un adhesivo aprobado por Thordon. Es adecuado cuando las siguientes circunstancias ocurren:

- Cuando se utiliza un cojinete de pared delgada y la fuerza de retención no es suficiente para mantener interferencia.
- Cuando el interior del alojamiento no está mecanizado o no ofrece el soporte adecuado a lo largo de toda la longitud del cojinete.
- Cuando el cojinete está sometido a altas temperaturas que pueden provocar un aflojamiento que le hace perder la fuerza de retención y por lo tanto la interferencia.
- Cuando se usa el Thordon HPSXL.
- Cuando el alojamiento no es redondo o está estropeado por corrosión.

Las dimensiones finales de un cojinete Thordon dependerán del método a utilizarse en su instalación. La selección del método mejor de instalación es extremadamente importante y va a depender de los requisitos de la aplicación.

Una instalación con interferencia es suficiente para impedir la rotación del cojinete bajo condiciones normales de operación, pero se recomienda un soporte en la parte anterior y un anillo de retención atornillado en la parte posterior para prevenir el movimiento axial del cojinete. Los anillos de retención deben ser de un tamaño adecuado y tener un diámetro interior aproximadamente 3 mm (1/8") mayor que el diámetro de las ranuras o 3mm mayor que el diámetro interior del cojinete si no tiene ranuras. Los soportes y anillos de retención no son obligatorios cuando un cojinete es montado por pegado en el alojamiento pero son recomendables en aplicaciones críticas como medida de seguridad. En los casos en que la orientación del cojinete es crítica como en el caso de que el cojinete no sea concéntrico o para el COMPAC se recomienda colocar un dispositivo anti-rotación.

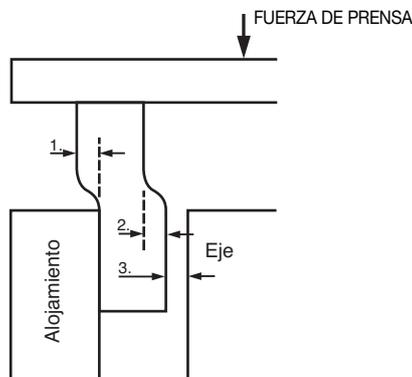
(i) Interferencia

En la mayoría de las aplicaciones se puede usar una instalación por interferencia, siempre y cuando todos los factores relevantes del diseño hayan sido tomados en cuenta. Es necesario, sin embargo, que la relación L/D del cojinete sea al menos 0.5:1. En la práctica la experiencia ha demostrado que los cojinetes pequeños se pueden montar fácilmente a presión, pero con cojinetes más grandes es mejor enfriarlos usando hielo seco o nitrógeno líquido. **El alojamiento no debe ser nunca calentado para facilitar la instalación, tampoco se debe usar grasa o aceite para ayudar el montaje de la instalación por presión.**

En los casos en que el cojinete se va a instalar por interferencia, como se muestra en Figura 17, el efecto de la interferencia sobre el diámetro interior del cojinete debe ser considerado. Este efecto, conocido como el Cierre del Diámetro Interior, se explica en la Sección 5 -Diseño de Aplicación.

Todos los cojinetes instalados con interferencia que son completamente mecanizados antes de ser instalados están sujetos a la acumulación de tolerancias de mecanizado que pueden generar holguras adicionales. Por ejemplo, cuando un cojinete es diseñado con holgura mínima, la holgura real dependerá de las tolerancias de mecanizado acumuladas durante la mecanización del cojinete, además de las tole-

Figura 17: Parámetros para instalación por Interferencia



Donde: 1. es Interferencia, 2. es Cierre del Diámetro Interior, 3. es Holgura de Trabajo en funcionamiento

Nota: Holgura mínima de Instalación = Holgura de Trabajo + Tolerancia de Expansión Térmica (si aplicable) + Tolerancia de Absorción de Agua (si aplicable)

rancias del eje y el alojamiento. Este cúmulo de tolerancias se puede reducir mecanizando solamente el O.D. del cojinete antes de su montaje por interferencia y luego mecanizando el I.D. una vez instalado hasta un máximo del 5% del espesor de la pared. Esto eliminará las tolerancias derivadas del efecto de cierre del diámetro interior, espesor de pared del cojinete e I.D. del alojamiento. El cierre del diámetro interior es el más variable de los factores que afectan las dimensiones del cojinete durante la instalación. Hay ciertas situaciones en donde en la práctica la reducción del diámetro interior varía de lo predicho en nuestros ensayos, y puede generar holguras adicionales. Si no es posible mecanizar el I.D. del cojinete después del montaje, se puede instalar un cojinete falso dentro de un alojamiento falso ya mecanizado a las dimensiones del alojamiento final para determinar la disminución exacta del diámetro interior para esa aplicación. El acabado superficial del alojamiento falso debe ser el mismo que se usará en el alojamiento actual. De ser necesario se pueden realizar los ajustes pertinentes. Alternativamente los cojinetes pueden ser mecanizados en un alojamiento falso ya mecanizado, sacados del mismo y montados en el alojamiento actual. Este procedimiento se utiliza a veces en cojinetes de bombas o turbinas verticales donde existe la necesidad de mantener la holgura inicial instalada lo más pequeña posible.

(ii) Instalación Por Enfriamiento

El montaje por enfriamiento es la manera más fácil de instalar un cojinete Thordon. El material Thordon se contrae de forma significativa cuando es enfriado debido a su alto coeficiente de contracción/expansión térmica, facilitando la instalación sin recurrir a equipo adicional. El nitrógeno líquido es el agente de refrigeración óptimo, pero el hielo seco también puede ser usado en la mayoría de las instalaciones si el nitrógeno líquido no está disponible.

El nitrógeno líquido se debe usar solamente en un recipiente bien sellado para evitar pérdidas del líquido. El cojinete debe sumergirse completamente o cubrirlo con el nitrógeno líquido. Cuando ya no sale más vapor del nitrógeno líquido, por proceso de ebullición, el cojinete ha alcanzado una temperatura de -196°C (-320°F) y ya se puede instalar fácilmente (el proceso toma aproximadamente de 5 a 30 minutos dependiendo del área de la superficie del cojinete). Si el hielo seco es usado como medio de enfriamiento, debe presentarse en pequeños trozos o romperlo si está en forma de bloque. El hielo seco debe ser apretado alrededor del O.D. del cojinete con cierta holgura alrededor de I.D. del cojinete para tener un buen contacto con las dos superficies, interior y exterior. Después de 3 horas de estar en el hielo seco, las dimensiones del cojinete pueden ser revisadas para ver si el cojinete se ha contraído suficientemente para permitir una instalación fácil. En caso contrario, el cojinete debe permanecer en el hielo seco una hora más.

CUIDADO: El uso de nitrógeno líquido o cantidades significativas de hielo seco en áreas cerradas o sin ventilación debe ser evitado. Los gases emanados por el proceso de ebullición tienden a desplazar el oxígeno existente y causar problemas de salud.

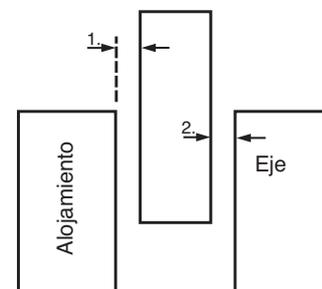
La cantidad aproximada de contracción asumida se puede estimar como la siguiente:

Por cada 10°C de disminución en la temperatura se obtiene una disminución en diámetro aproximadamente de 0.0014 mm/mm de diámetro. (Por cada 10°F de disminución en temperatura se obtiene una disminución en diámetro aproximadamente de 0.0008 pulgadas/pulgada de diámetro.)

(iii) Pegado

Como se ha indicado anteriormente este procedimiento es una alternativa aceptable a la fijación por interferencia en ciertas circunstancias. El espesor de la capa de adhesivo debe ser considerado cuando se dimensiona el O.D. del cojinete. Cuando el cojinete se monta pegado en el alojamiento no hay ningún efecto del cierre en el diámetro interior del cojinete (ver figura 18).

Figura 18: Parámetros para montaje con Pegamento



Donde: 1. es Espesor de Adhesivo 2. es Holgura de Trabajo en funcionamiento

Nota: Holgura mínima de Instalación = Holgura de Trabajo + Tolerancia de Expansión Térmica (si aplicable) + Tolerancia de Absorción de Agua (si aplicable)

Para mantener la acumulación de tolerancias al mínimo, se recomienda que el cojinete sea mecanizado en su O.D. y luego pegado en el alojamiento. Después de pegado, se debe mecanizar el I.D.. Este método es usado en aplicaciones de bombas donde las holguras deben mantenerse al mínimo.

Para garantizar buenos resultados el procedimiento de pegar Thordon con los adhesivos aprobados por Thordon, tiene que ser tenido en cuenta como se describe en el Apéndice 1. El pegado debe efectuarse a una temperatura determinada y constante a lo largo de todo el proceso de curación del adhesivo. Las variaciones de temperatura durante el proceso de curado pueden tener un efecto negativo en la consistencia del pegado. La combinación de enfriamiento y pegado no funciona bien, ya que la humedad en el cojinete enfriado tendrá un impacto negativo muy significativo en la calidad del pegado.

(iv) Alojamiento del Cojinete

El alojamiento en donde el cojinete Thordon va a ser instalado debe ser redondo y no cónico u ovalado. El máximo ovalamiento permitido de un alojamiento es 1/3 de la holgura de trabajo prevista. El alojamiento debe también soportar al cojinete Thordon en toda su longitud. Porosidades en el alojamiento u otras anomalías deben ser corregidas mediante mecanizado, o instalando una camisa o pegando el cojinete (para poros de no más de 3 mm (0.125")), o rellenando los espacios con un procedimiento con compuestos de epoxy aprobados por Thordon.

Si el alojamiento está desalineado o se necesita hacer un alesaje inclinado, dicho desalineamiento o inclinación hay que corregirlo en el alojamiento. No se recomienda un mecanizado excéntrico del interior del cojinete después de haberlo montado por los posibles efectos negativos que puede causar este removimiento de material en los esfuerzos de interferencia. Como alternativa se puede alinear un cojinete ya mecanizado y después pegarlo o montarlo con Chockfast (o similar) in situ. También se puede alinear un cojinete falso, rellenar con Chockfast (o similar) la parte exterior del cojinete falso y posteriormente quitar el cojinete falso. Esto deja un alojamiento redondo con pared del Chockfast (o similar) donde se puede montar el cojinete Thordon concéntrico utilizando una prensa o enfriando el mismo.

j) TOLERANCIAS DE MECANIZADO

Thordon, un material no-metálico, no puede ser mecanizado con tolerancias ajustadas como el bronce u otros materiales rígidos. También ese nivel de tolerancias no es necesario para obtener un buen rendimiento. Las tolerancias normales para el mecanizado del Thordon, tanto para O.D. (diámetro exterior), I.D. (diámetro interior) y W.T. (espesor de pared) son las siguientes:

Cojinetes hasta 330mm (13.00")

O.D. +0.13mm, -0.00mm (+0.005", -0.000")
I.D. +0.13mm, -0.00mm (+0.005", -0.000")

Cojinetes entre 330 y 530mm (13.00" y 21.00")

O.D. +0.18mm, -0.00mm (+0.007", -0.000")
W.T. (Espesor de pared)
+0.00mm, -0.13mm (+0.000", -0.005")
I.D.(sólo Composite)
+0,18mm, -0,00mm (+0.007", -0.000")

Cojinetes mayores a 530mm (21.00")

O.D. +0.25mm, -0.00mm (+0.010", -0.000")
W.T. +0.00mm, -0.13mm (+0.000", -0.005")
I.D. (sólo Composite)
+0.25mm, -0.00mm (+0.010", -0.000")

Tolerancias de longitud del cojinete:

Para cojinetes inferiores a 500 mm de longitud (20")

+0.00mm, -0.50mm (+0.000", -0.020")

Para cojinetes superiores a 500 mm de longitud (20")

+0.00mm, -1.00mm (+0.000", -0.040")

NOTA 1: Para cojinetes en Thordon XL, SXL y COMPAC de más de 330 mm (13") la tolerancia del I.D. es recomendado controlar el espesor de pared del cojinete. Para cojinetes en Composite de más de 330 mm (13") solamente se puede controlar el I.D. directamente.

NOTA 2: Si el espesor de pared es inferior a 25 mm (1") puede haber limitaciones en la longitud del cojinete que se pueda mecanizar. Para más detalles consulte a Thordon.

NOTA 3: Si la aplicación exige tolerancias inferiores a las que aparecen en este manual consulte a su distribuidor de Thordon.

k) MINIMIZAR LA HOLGURA INICIAL DE INSTALACIÓN

La holgura inicial de instalación para un cojinete Thordon es en general mayor que la holgura final de funcionamiento, básicamente porque la holgura inicial de instalación incluye tolerancias para las expansiones previstas por cambio de temperatura y absorción de agua. Estas tolerancias de cambio de temperatura y absorción de agua desaparecen durante la operación del cojinete aunque toman un tiempo significativo.

En algunas aplicaciones se exige dimensionar la holgura inicial de instalación lo más pequeña posible. Un ejemplo típico se da en la aplicación de cojinetes para bombas verticales. La holgura final de trabajo puede ser aceptable pero cuando se considera la suma de la holgura de trabajo más las tolerancias para expansión térmica y expansión por absorción de agua, esta suma (holgura inicial de instalación) puede superar un valor de diseño predeterminado para operación inicial. En estos casos es necesario considerar las formas de reducir la holgura inicial. Hay varias opciones:

1) Cojinete de menor espesor. Las tolerancias para cambios de temperatura y absorción de agua son proporcionales al espesor de pared del cojinete. Al reducir el espesor de pared las tolerancias se reducen por lo que la holgura inicial de instalación puede ser reducida. Reduciendo el espesor de pared normalmente se obtiene con la reducción del diámetro del alojamiento. El programa de cálculo puede ser útil para esto ya que calcula "Holgura Mínima de Instalación".

Se usa para determinar con qué espesor de pared se consigue la holgura inicial requerida. Se puede dar el caso de que ese espesor sea tan pequeño que haya que recurrir al pegado y que no se puede montar el cojinete por interferencia.

2) Minimizar las variaciones del factor de cierre del diámetro interior. Este factor de cierre (efecto de la interferencia sobre el diámetro interior del cojinete) es el aspecto menos preciso de los cálculos de dimensiones de Thordon. Este cierre depende de diferentes factores como el grado de acabado del mecanizado del cojinete y del alojamiento. Hay varias formas de minimizar la variación de este cierre.

- a) Al reducir el ratio Longitud/Diámetro del cojinete se reducirán las variaciones de este factor a lo largo de la longitud del cojinete.
- b) Haciendo el mecanizado final del interior del cojinete después de montarlo por interferencia. Con esto se elimina el efecto del cierre porque ya se ha producido antes del mecanizado. También se elimina la acumulación de tolerancias que pueda tener el espesor de pared y el alojamiento. Este procedimiento remueve material que contribuye a la fuerza de interferencia contra el alojamiento por lo que se recomienda mecanizar lo mínimo posible.
 - Para cojinetes sin ranuras este mecanizado no debe quitar más de un 5% del espesor de pared.
 - Para cojinetes con ranuras, este límite de mecanizado no es tan importante porque el material está menos forzado o comprimido pero también debe limitarse al 10% del espesor de pared o al 25% de la profundidad de las ranuras lo que resulte en menos remoción de material. **Las ranuras de lubricación deben ser mecanizadas siempre antes de montar por interferencia el cojinete.**
- c) Fijando el cojinete en un alojamiento falso antes de mecanizar el diámetro interior. Este método es una variante de la sección "b" antes descrito que puede utilizarse cuando no es práctico montar el cojinete en el alojamiento original para el mecanizado del interior. El alojamiento falso tendrá las mismas dimensiones y acabado de superficie del alojamiento actual. Este método es menos preciso porque no elimina las tolerancias de mecanizado del alojamiento. Las mismas limitaciones del máximo material a mecanizar en el diámetro interior del Thordon se aplican también en este caso como expresado en la sección "b".

1) PROCESO DE SELECCIÓN

En cualquier aplicación de cojinete la primera consideración es asegurarse que el calor de fricción generado en las superficies en contacto es absorbido y disipado por el sistema o es eliminado por la acción de lubricantes o refrigerantes. Debe existir un equilibrio en el sistema cuando la temperatura se estabiliza y ésta debe ser por debajo de la temperatura límite del material. En caso contrario, el cojinete fallará.

La segunda consideración es el medio ambiente donde opera el cojinete, por ejemplo ambiente muy abrasivo o limpio, ya que éste afecta la selección del material.

NOTA: La Guía General de Selección de Materiales para Aplicaciones Industriales (fig 19) se ha preparado para seleccionar el grado correcto de Thordon para diferentes parámetros de aplicación y debe de usarse conjuntamente con los gráficos PVT.

La Guía para Selección de Materiales no toma en cuenta ninguna generación de calor. Si la velocidad periférica es suficientemente alta para generar calor, la máxima presión será significativamente menor. Por ejemplo en ejes de propulsión marina y para cojinetes de eje en Thordon COMPAC, XL y SXL, la máxima presión se limita a 0,6 MPa (87 p.s.i.).

Para aplicaciones de presión alta donde el calor generado por fricción no es un factor debido a movimiento oscilante o a velocidades muy bajas, el cojinete debe ser diseñado con un alto factor de forma, por ejemplo por encima de 100, como en nuestro cojinete "HPSXL TRAXL".

GRADOS DE THORDON

Thordon XL (De Color Negro). Se usa en una variedad de aplicaciones industriales o marinas

- Bajo coeficiente de fricción (típico de 0.20-0.25)
- Alta resistencia a la abrasión
- Alta resistencia a las cargas de choque y vibraciones

Thordon SXL (De Color Blanco) tiene una capacidad superior para trabajar en seco, un coeficiente de fricción más bajo y la resistencia a la abrasión es muy similar comparándola al XL.

- Coeficiente de fricción más bajo que el XL (típico 0.10-0.20)
- Mayor relación PV en seco que el XL
- Mayor resistencia a la abrasión que el XL trabajando en condiciones húmedas; buena resistencia a la abrasión trabajando en seco.
- Capacidad de trabajar con arranques en seco como en aplicación de bombas verticales.
- Alta resistencia a las cargas de choque y vibraciones.

NOTA: Cuando se utilice el SXL en bombas verticales con arranque en seco consulte con Thordon para definir un diseño adecuado. Thordon recomendará un tiempo máximo de trabajo en seco en función de la velocidad periférica del eje y de la carga sobre el cojinete.

Thordon COMPAC (De Color Naranja) es un grado de Thordon de baja fricción que es usado en sistemas marinos "abiertos" lubricados por agua para los cojinetes del eje propulsión. Especialmente formulado con un coeficiente de fricción bajo para reducir la fricción del arranque y reducir el efecto "Stick-slip", la configuración única del COMPAC esta diseñada para promover la formación de la película hidrodinámica a bajas revoluciones del eje.

El sistema de cojinetes COMPAC está aprobado por las entidades clasificatorias para ratios L/D de 2/1. Las propiedades del COMPAC son muy similares a las de SXL.

Thordon Composite (exterior normalmente en polímero amarillo e interior negro en material **GM2401**) es un cojinete de dos componentes utilizado en bombas y aplicaciones marinas con fórmula y composición diseñada específicamente para trabajar en ambientes muy abrasivos.

GUÍA DE DISEÑO

- Utilizado en aplicaciones giratorias en aguas con condiciones muy abrasivas tales como en bombas y dragas.
- Resistencia a la abrasión extra – dos o más veces que la goma.
- Coeficiente de fricción bastante más bajo que la goma.
- Mayor rigidez y resiliencia que la goma.
- Disponible con la parte exterior ya sea en polímero amarillo o en metal.

Thordon HPSXL (Gris) está diseñado para aplicaciones de alta presión tanto para utilizarlo como material homogéneo o como componente interior en el HPSXL TRAXL donde trabaja pegado a un alojamiento metálico.

- Máxima presión dinámica de trabajo 15 MPa (2.175 p.s.i.) en movimiento limitado.
- HPSXL TRAXL tiene una presión dinámica máxima de trabajo de 55 MPa (8.000 p.s.i) en movimiento limitado.

- Coeficiente de fricción mas bajo (típico 0.06-0.12)
- Resistencia a la abrasión moderada (inferior al XL o al SXL)
- Alta resistencia a las cargas de choque y vibraciones.

ThorPlas® (Azul) es un material no elastómero desarrollado por Thordon específicamente como un cojinete homogéneo de alta presión

- Presión de trabajo dinámico máximo 31 MPa (4.500 p.s.i.)
- Bajo coeficiente de fricción (típico 0.10-0.17)
- Desgaste muy bajo en ambientes no abrasivos
- Resistencia a la abrasión razonable-inferior a los elastómeros de Thordon pero mejor que el bronce, laminados fenólicos y muchos otros cojinetes de materiales no metálicos.

Para mas información sobre ThorPlas®, póngase en contacto con su distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings para obtener una copia del Manual de Ingeniería de ThorPlas®.

Figura 19: Guía General para Selección de Materiales para Aplicaciones Industriales

Lubricación/ Presión de Operación	Grado Thordon Recomendado		
	★★★★★	★★★★	★★★
Seco (sellado o con abrasivos mínimos) 0-10 MPa (0-1450 psi) 10-15 MPa (1450-2175 psi) 15-31 MPa (2175-4500 psi) 31-55 MPa (4500-8000 psi)	SXL HPSXL HPSXL TRAXL HPSXL TRAXL	ThorPlas® ThorPlas® ThorPlas®	
Seco (con abrasivos) 0-5.5 MPa (0-800 psi) 5.5-10 MPa (800-1450 psi) 10-15 MPa (1450-2175 psi) 15-31 MPa (2175-4500 psi)	XL SXL HPSXL ThorPlas®	SXL ThorPlas® ThorPlas®	ThorPlas®
Húmedo (sellado o con abrasivos mínimos) 0-10 MPa (0-1450 psi) 10-15 MPa (1450-2175 psi) 15-31 MPa (2175-4500 psi) 31-55 MPa (4500-8000 psi)	SXL HPSXL HPSXL TRAXL HPSXL TRAXL	ThorPlas® ThorPlas® ThorPlas®	
Húmedo (con abrasivos) 0-3 MPa (0-500 psi) 3-10 MPa (500-1450 psi) 10-15 MPa (1450-2175 psi) 15-31 MPa (2175-4500 psi)	GM2401 SXL HPSXL ThorPlas®	SXL ThorPlas® ThorPlas®	ThorPlas®

Nota:
Las presiones máximas dadas para los productos Thordon son basadas en presiones dinámicas máximas de trabajo para movimiento intermitente o limitado. Para aplicaciones utilizando rotación continua, los límites PV de los materiales causarán una reducción importante en las presiones máximas permitidos.
Ésta es un guía general para referencia técnica solamente. Aplicaciones críticas que están cerca de los límites de presión o temperatura, o sujetos a ambientes no estándar tienen que ser revisadas por Thordon Bearings.

m) PROBLEMAS Y CAUSAS DE FALLO

PROBLEMA	RAZÓN	SOLUCIÓN
A) El cojinete Thordon se suelta del alojamiento cuando está sometido a una reducción rápida de la temperatura, aún cuando el cojinete ha sido diseñado para operar a esas temperaturas.	Cuando un cojinete se ha montado con una determinada interferencia y está sujeto a una reducción rápida en temperatura, se contrae más rápido que la posibilidad del material para poder recobrar su interferencia de montaje.	Cuando el cojinete Thordon está sujeto a este tipo de "Choque Térmico", el cojinete se debería pegar en el alojamiento y asegurarlo por fijación mecánica.
B) El Cojinete Thordon se desprende del alojamiento cuando está sujeto a períodos largos de temperaturas a 60°C (140°F) para el XL, SXL, COMPAC Y Composite (GM2401).	Por encima de 60°C (140°F) el material libera tensiones por si mismo y la interferencia adecuada ya no existe. Cuando la temperatura vuelve a valores más bajos, el cojinete se contraerá y se desprenderá del alojamiento.	El cojinete se debería pegar en el alojamiento y asegurarlo mediante fijación mecánica.
C) El cojinete tiende a "desplazarse" o moverse axialmente fuera del alojamiento.	Este ocurre normalmente cuando la presión a lo largo del cojinete no es uniforme ni cíclica, y el componente de la fuerza produce una carga axial.	Asegúrese que el cojinete es retenido axialmente por anillos de retención o en su defecto el cojinete debería ser pegado en el alojamiento.
D) Un cojinete se "pega" en el eje causando que el Thordon se ablande en el área de contacto con el eje.	Esto se debe a que las holguras previstas no fueron suficientes o el valor combinado de PVT es demasiado alto.	Asegúrese que las holguras son correctas, considerando la holgura de trabajo, la de expansión térmica y el hinchamiento por absorción de agua si es aplicable. También, asegúrese que el cierre del diámetro interior se ha considerado en cojinetes instalados con interferencia. Chequear los valores de PVT para ver si es necesario usar lubricante auxiliar o refrigerante.
E) El cojinete se desgasta en el interior tomando una apariencia brillante que cubre todo el diámetro interior o solamente en el área sometida a carga. El cojinete podría mostrar pequeñas grietas.	El cojinete ha estado operando en agua a temperaturas elevadas, por ejemplo más de 60°C (140°F) o en vapor. El cojinete falló por hidrólisis causando ablandamiento o grietas en el material.	Proveer un flujo de agua a baja temperatura hacia el cojinete y no usar nunca vapor para limpiar el cojinete.
F) El material del cojinete se separa como si estuviera laminado. La separación se produce en el medio del espesor de pared.	La acumulación de calor interior producida por fatiga de presión y la gran carga de impacto causan el fallo del material por histéresis.	El espesor de pared del cojinete debe ser reducido para limitar la flexión y reducir el tiempo de recuperación entre impactos.
G) El cojinete parece haberse ablandado – bultos en los extremos del cojinete o material fundido en el interior de las ranuras.	El cojinete no ha tenido suficiente lubricación para mantenerse lubricado. El calor generado por la fricción es mayor que el disipado por el lubricante.	Incrementar el caudal de lubricación: – Para cojinetes lubricados con agua asegúrese que el caudal es el adecuado y que el agua está frío – Para otro tipo de lubricante asegúrese que hay suficiente lubricante y que hay unos medios adecuados para mantenerlo frío.

m) PROBLEMAS Y CAUSAS DE FALLOS DE COJINETES Continuación...

PROBLEMA	RAZÓN	SOLUCIÓN
H) Un cojinete que está correctamente lubricado se desgasta rápidamente y muestra indicaciones de derretirse.	El cojinete está sobrecargado.	Compruebe la carga sobre el cojinete en relación con las presiones límites para los cojinetes Thordon que se indican en la Fig. 19.
I) Un cojinete lubricado por agua se desgasta más rápido que lo esperado y el eje se ve cubierto con una película blanca.	El polvo blanco de la película es una deposición catódica que se deposita sobre el eje cuando el sistema de protección catódica del barco es mayor que el necesario.	Límpie la superficie del eje y reduzca el nivel de protección catódica. Si el barco ha estado mucho tiempo en un puerto determinado, investigue las protecciones catódicas del muelle que pueden empeorar el problema.
J) Un cojinete de eje de propulsión lubricado por agua se ha desgastado prematuramente después de pocas horas de trabajo.	Han crecido cultivos marinos en el eje.	Gire el eje en los dos sentidos cada dos días para romper los depósitos de cultivos marinos.

5) DISEÑO DE APLICACIÓN

- a) *Diseño de Aplicación*
- b) *Interferencia*
- c) *Pegado*
- d) *Cierre Del Diámetro Interior*
- e) *Holgura De Trabajo*
- f) *Tolerancia Para Expansión Térmica*
- g) *Tolerancia Para Absorción De Agua*
- h) *Holgura Mínima de Instalación*
- i) *Cómo usar el Programa de Cálculo Thordon*
- j) *Dimensionamiento Manual*
- k) *Ejemplos de Cálculos Manuales*
- l) *Cálculo de Cojinete con Chaveta*
- m) *Cojinetes de Alta Presión*
- n) *Cojinetes para Bombas verticales: Arranque en seco*

a) DISEÑO DE APLICACIÓN

Las dimensiones finales de un cojinete Thordon dependerán del tipo de instalación. La selección del mejor método de montaje es extremadamente importante y va a depender de las características de la aplicación.

Los cojinetes Thordon son usualmente instalados por interferencia o pegados. En ciertas aplicaciones se usan chavetas mecánicas para favorecer una instalación por interferencia. Si un cojinete se monta a presión, entonces la interferencia y el cierre del diámetro interior deben ser considerados en el cálculo, junto a la holgura de trabajo, la de expansión térmica y la expansión por absorción de agua. Sin embargo, si el cojinete es pegado en el alojamiento, entonces se deben considerar los últimos tres factores solamente.

Thordon Bearings ha desarrollado un programa de computadora para calcular las dimensiones de los cojinetes Thordon. Este programa simplifica mucho el proceso de dimensionamiento. El uso de este programa de cálculo para el dimensionamiento de los cojinetes Thordon es el método preferido para dimensionar los mismos. Las siguientes explicaciones se suministran principalmente para entender los parámetros del mismo. Ejemplos de cálculo manual se presentan sólo como referencia.

Se debe considerar los parámetros siguientes:

- Medida de Alojamiento y Tolerancia
- Diámetro del Eje y Tolerancia
- Longitud de Cojinete
- Temperatura de Trabajo (máxima y mínima)
- Temperatura del Taller
- Tipo de Lubricación
- Método de Retención

b) INTERFERENCIA

Una de las diferencias básicas entre Thordon y otros materiales de cojinetes es que Thordon necesita más interferencia. Esto se debe a la naturaleza del material. La mayor interferencia no significa ningún problema pero debe tenerse en cuenta para asegurar que el cojinete Thordon queda con la suficiente retención en su alojamiento.

Los cojinetes elastómericos de Thordon se contraen tanto en el diámetro exterior como en el interior a medida que la temperatura disminuye. Debido al alto coeficiente de expansión (o contracción) térmica, comparado con los metales, es necesario tener en consideración este factor cuando las condiciones de trabajo disminuyen respecto a la temperatura ambiente. El Programa de Cálculo de Dimensionamiento de Cojinetes Thordon considera una temperatura ambiente del taller de 21°C (70°F), calcula las dimensiones basadas en 21°C (70°F) de temperatura ambiente y además nos da las correcciones a aplicar a dichas dimensiones en función de la temperatura real del taller en el momento en que se mecaniza.

En los gráficos de interferencia, (Figuras 20 y 21) la contracción a bajas temperaturas para el XL y el SXL ha sido calculada para incrementos de 10°C (18°F) para medidas métricas y 20°F (11°C) para medidas imperiales, **por debajo de las temperaturas ambiente del taller.**

Los cojinetes Thordon montados por interferencia son válidos tanto si se montan a presión como con frío. Un chaflán de entrada en el cojinete y/o una arista redondeada en el alojamiento facilitará la instalación por presión. La fuerza de presión por mm (pulgada) del cojinete puede ser calculada como sigue:

$$F(\text{kg}) = \frac{\text{interferencia (mm)} \times \text{espesor de pared (mm)} \times \text{Longitud (mm)} \times 85}{\text{diámetro interior del alojamiento (mm)}}$$

$$F(\text{N}) = \frac{\text{interferencia (mm)} \times \text{espesor de pared (mm)} \times \text{Longitud (mm)} \times 850}{\text{diámetro interior del alojamiento (mm)}}$$

$$F(\text{lbs.}) = \frac{\text{interferencia (")} \times \text{espesor de pared (")} \times \text{longitud (")} \times 120000}{\text{diámetro interior del alojamiento (")}}$$

Nota: Estos valores son estimados, utilizando un coeficiente de fricción de 0.3 y un Módulo de Compresión nominal para acomodar todos los grados de cojinetes Thordon.

Cuando un cojinete Thordon es instalado por interferencia por frío, la selección de un agente adecuado de refrigeración dependerá del diferencial de temperatura para la cual se ha definido el montaje por interferencia. [El diferencial de temperatura es la diferencia entre la temperatura ambiente de taller de mecanizar y la temperatura más fría a la cual el cojinete a instalar estará expuesto.] Si el diferencial de temperatura es de 40°C (100°F) o menor, entonces normalmente se puede usar hielo seco. Si el diferencial de temperatura es mayor de 40°C (100°F), el uso de nitrógeno líquido es recomendado. La contracción supuesta puede ser estimada usando el criterio siguiente:

Por cada 10°C de disminución en temperatura resultará una disminución en el diámetro de aproximadamente 0.0014 mm/mm de diámetro

Por cada 10°F de disminución en temperatura resultará una disminución en el diámetro de aproximadamente 0.0008 pulgadas/pulgada de diámetro.

DISEÑO DE APLICACIÓN

Si se saca un cojinete montado por interferencia de su alojamiento, recuperará una parte de la deflexión total casi inmediatamente y después recuperará el resto de la interferencia muy lentamente salvo una pequeña proporción correspondiente a la compresión del material. En ensayos se ha comprobado que la recuperación sobre la interferencia total es de más del 90% después de varias semanas.

NOTA: No se recomienda el montaje por interferencia para el Thordon HPSXL. Este material debe de ser pegado en situ.

Figura 20a: Interferencia de Alojamiento: Cojinetes XL (Métrico)

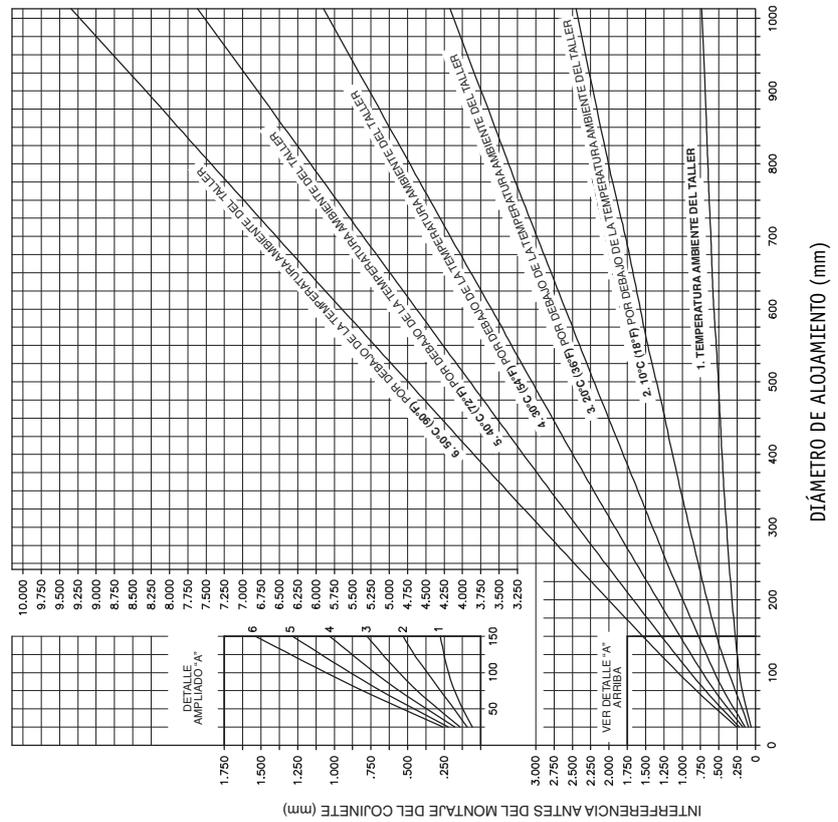


Figura 20b: Interferencia de Alojamiento: Cojinetes XL (Imperial)

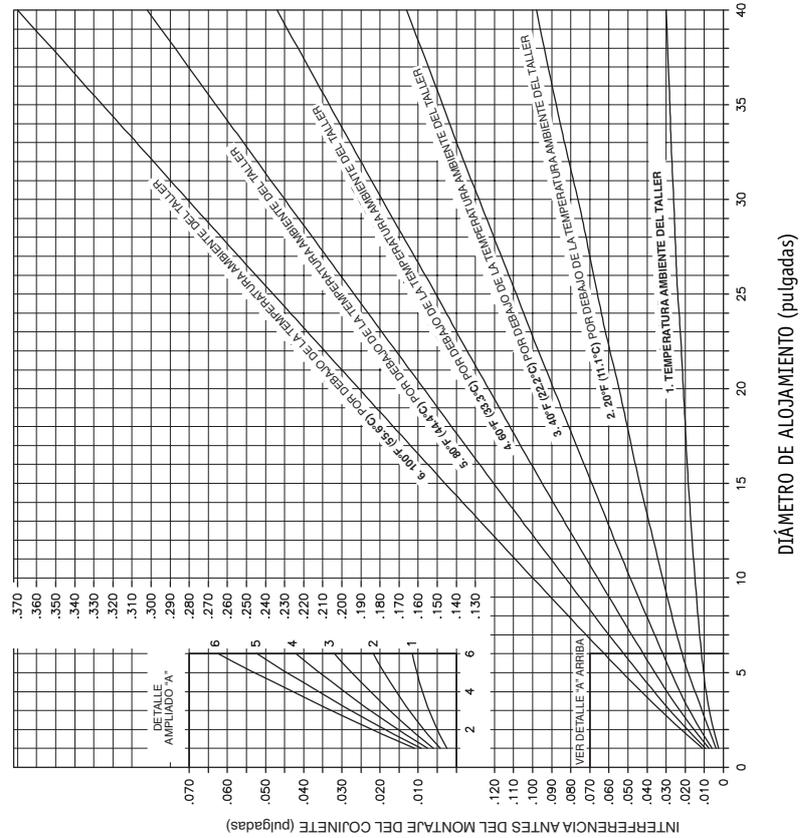


Figura 21a: Interferencia de Alojamiento: Cojinetes SXL (Métrico)

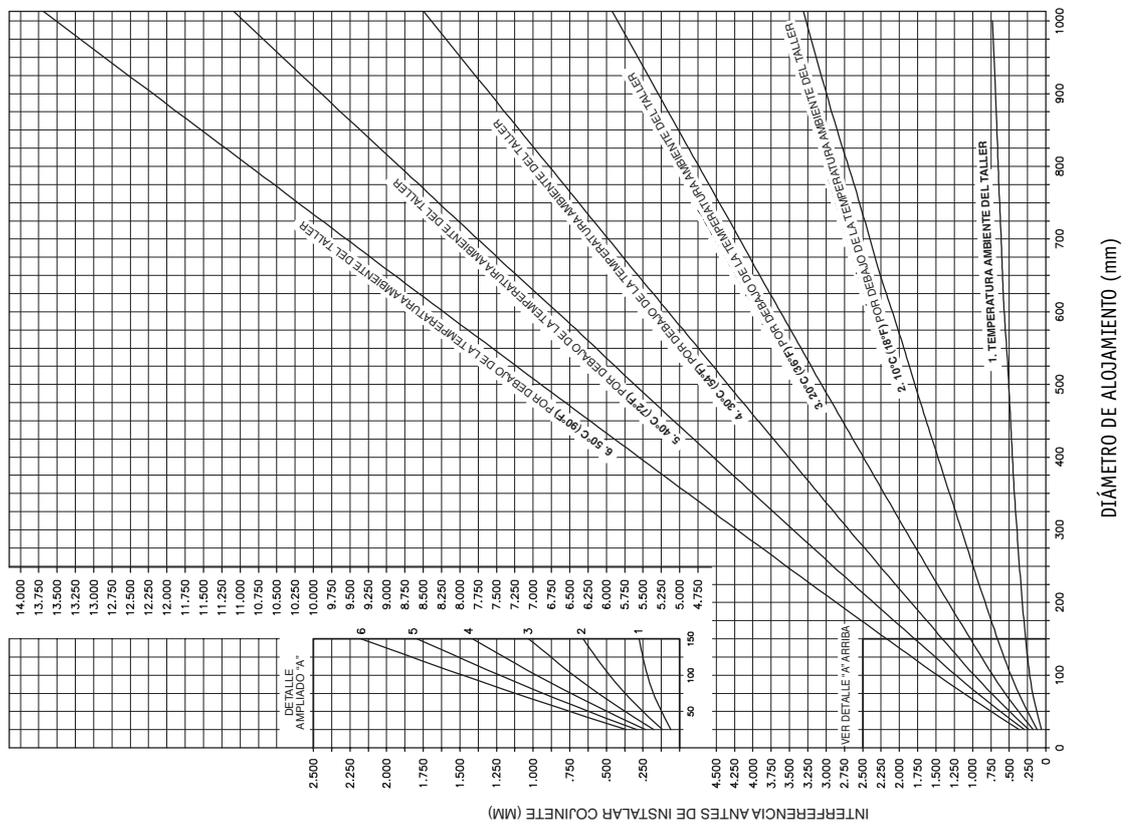
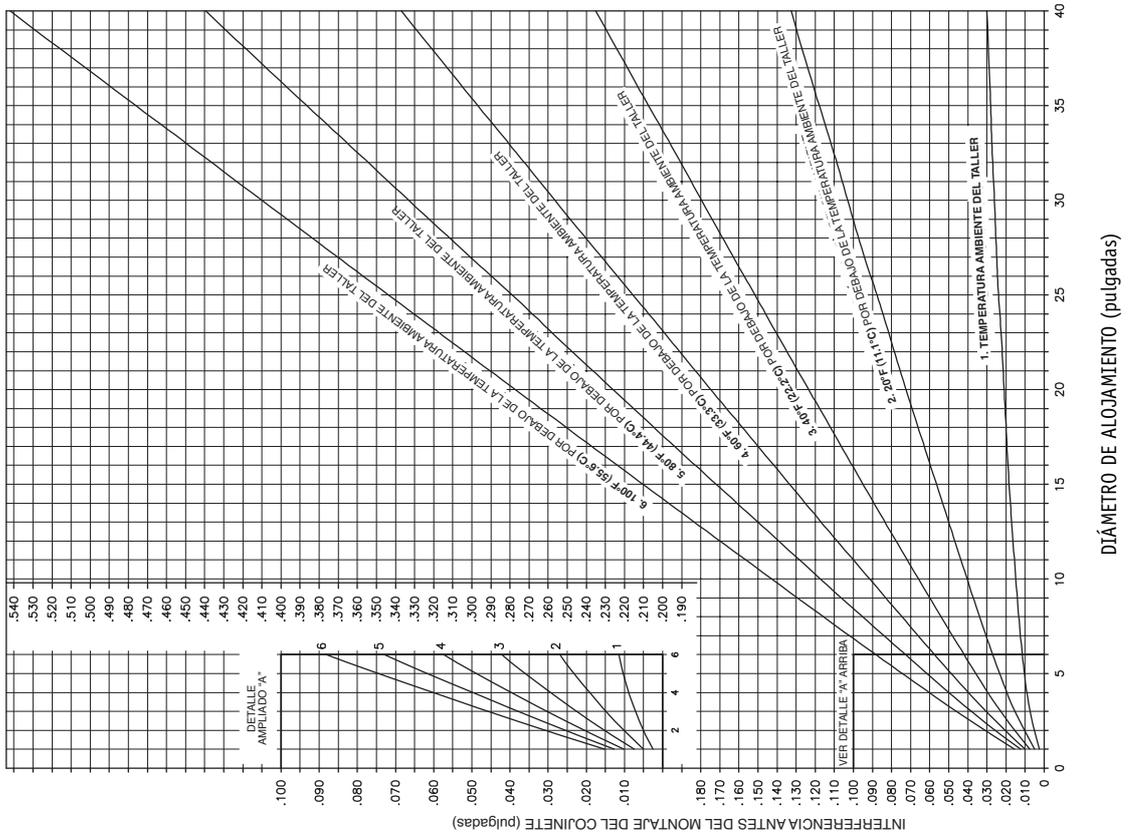


Figura 21b: Interferencia de Alojamiento: Cojinetes SXL (Imperial)



DISEÑO DE APLICACIÓN

c) PEGADO

Como se ha indicado en la sección 4(i)-iii el pegado es una alternativa al montaje por interferencia. El O.D. del cojinete será el diámetro del alojamiento menos el espesor del pegamento. El Programa de Cálculo nos suministra los detalles para el cálculo de los cojinetes pegados. Ver también el ejemplo de cálculo en la sección 5 (j)-2.

Para garantizar unos resultados correctos debe utilizarse el procedimiento de pegado con adhesivos aprobados por Thordon como se indica en el apéndice 1.

d) CIERRE DEL DIÁMETRO INTERIOR

Cuando un cojinete Thordon es instalado por interferencia, el diámetro interior del cojinete se reduce debido al desplazamiento volumétrico. El valor real del cierre del diámetro interior varía dependiendo del acabado superficial del diámetro exterior del cojinete y del diámetro interior del alojamiento. Los dos pueden influir en la compresión axial. También

depende del coeficiente de fricción del material del cojinete. Thordon Bearings Inc. ha estudiado extensivamente dos teorías de cierre del diámetro interior. La Teoría A no permite movimiento axial en los cálculos y la Teoría B permite movimiento axial. Para dimensionar cojinetes Thordon, se usa la Teoría A que es más conservadora al estimar el cierre del diámetro interior real, y por lo tanto conduce a una holgura de trabajo mayor. Ambas teorías se muestran en la Figura 22.

En realidad los resultados han sido variados, en su mayoría más cerca de la Teoría A. Las Figuras 23 y 24 representan la Teoría A con un límite máximo de un factor de 1,45 para el Thordon XL y Composite y 1,25 para el Thordon SXL y el COMPAC. Si se quisieran datos más precisos se pueden desarrollar pruebas más concretas en una aplicación determinada y real. El Programa de Cálculo utiliza la teoría A para calcular el cierre de diámetro interior.

El cierre del diámetro interior se calcula utilizando un factor que se aplica al promedio de la interferencia calculada. Se añade el resultado de este cálculo al I.D. del cojinete.

Figura 22: Resultados Thordon de Pruebas de Cierre del Diámetro Interior

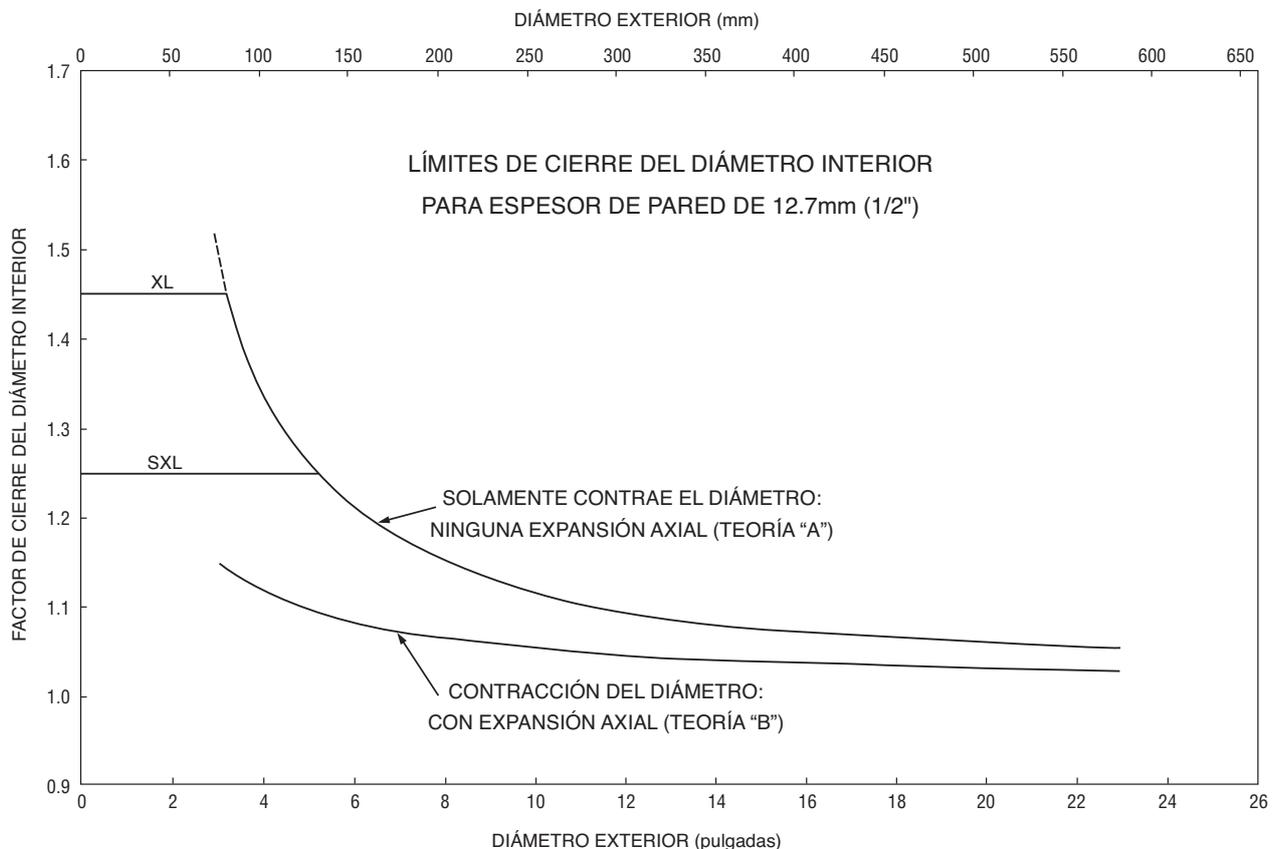
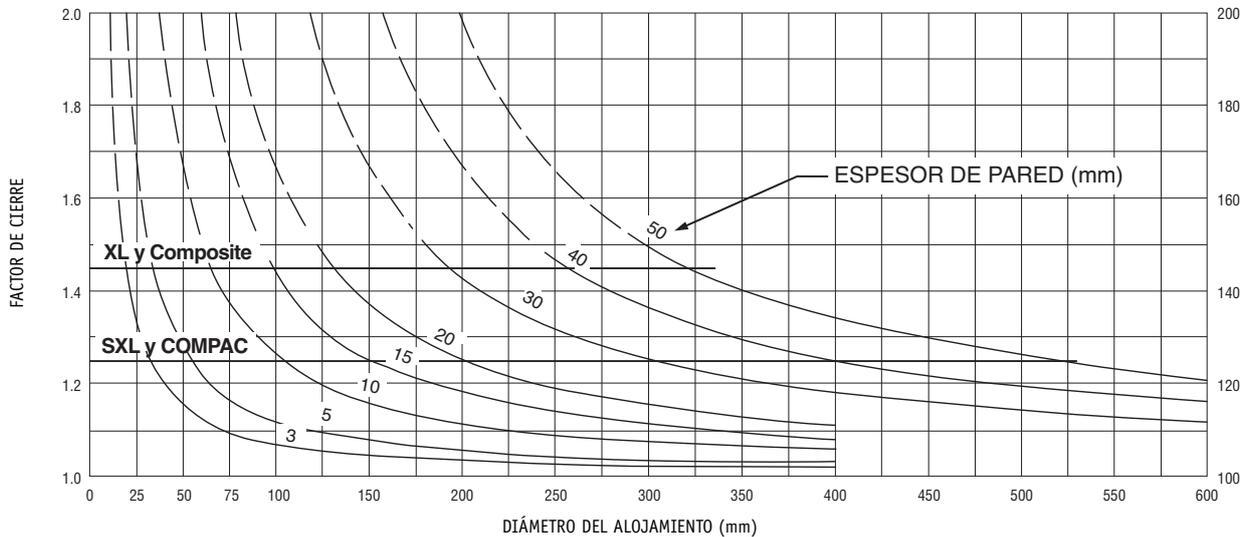
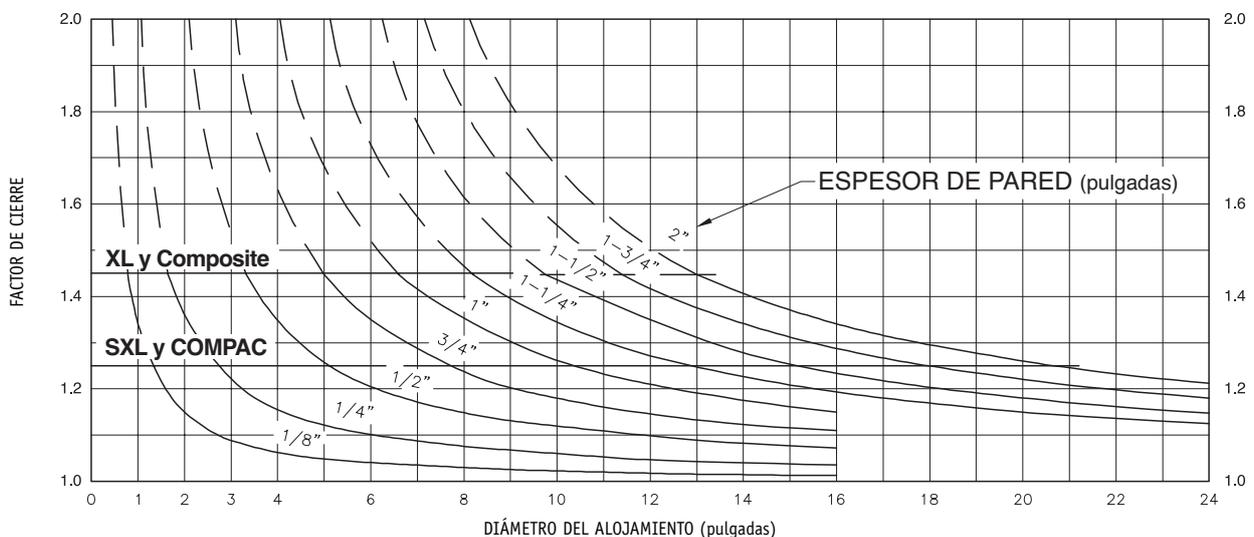


Figura 23: Factor de Cierre del Diámetro Interior Para Varios Espesores de Pared (métrico)



Nota: Este gráfico indica un factor máximo de 1.25 para SXL y COMPAC y un factor máximo de 1.45 para XL y Composite.

Figura 24: Factor de Cierre del Diámetro Interior Para Varios Espesores de Pared (Imperial)



Nota: Este gráfico indica un factor máximo de 1.25 para SXL y COMPAC y un factor máximo de 1.45 para XL y Composite.

e) HOLGURA DE TRABAJO

Las holguras de trabajo recomendadas para los cojinetes Thordon, como otros materiales no metálicos, son más generosas de los que se especifican para los cojinetes metálicos.

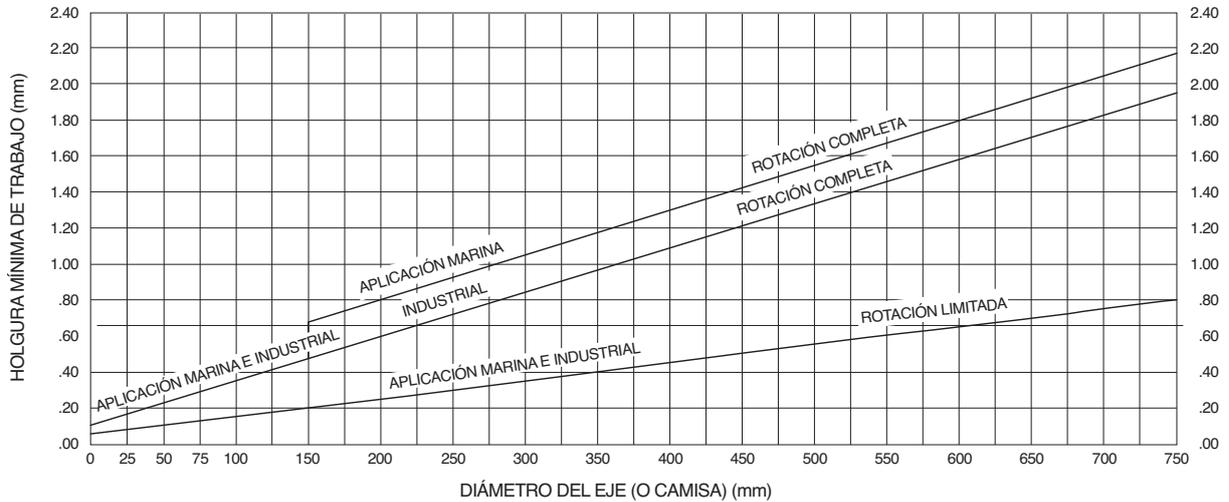
La holgura de trabajo es necesaria para el establecimiento satisfactorio de una película de lubricación. También, incluye un margen de seguridad para permitir la reducción del diámetro interior como resultado del calentamiento por

fricción del cojinete durante la operación. Las Figuras 25 y 26 muestran la holgura de trabajo diametral requerido para aplicaciones marinas e industriales.

La holgura diametral es la diferencia entre la dimensión del diámetro interior después de ser instalado y el diámetro exterior del eje sin considerar las holguras adicionales para los efectos de temperatura y de absorción de agua. Una vez que el cojinete haya trabajado un tiempo, sólo se quedará la holgura de trabajo.

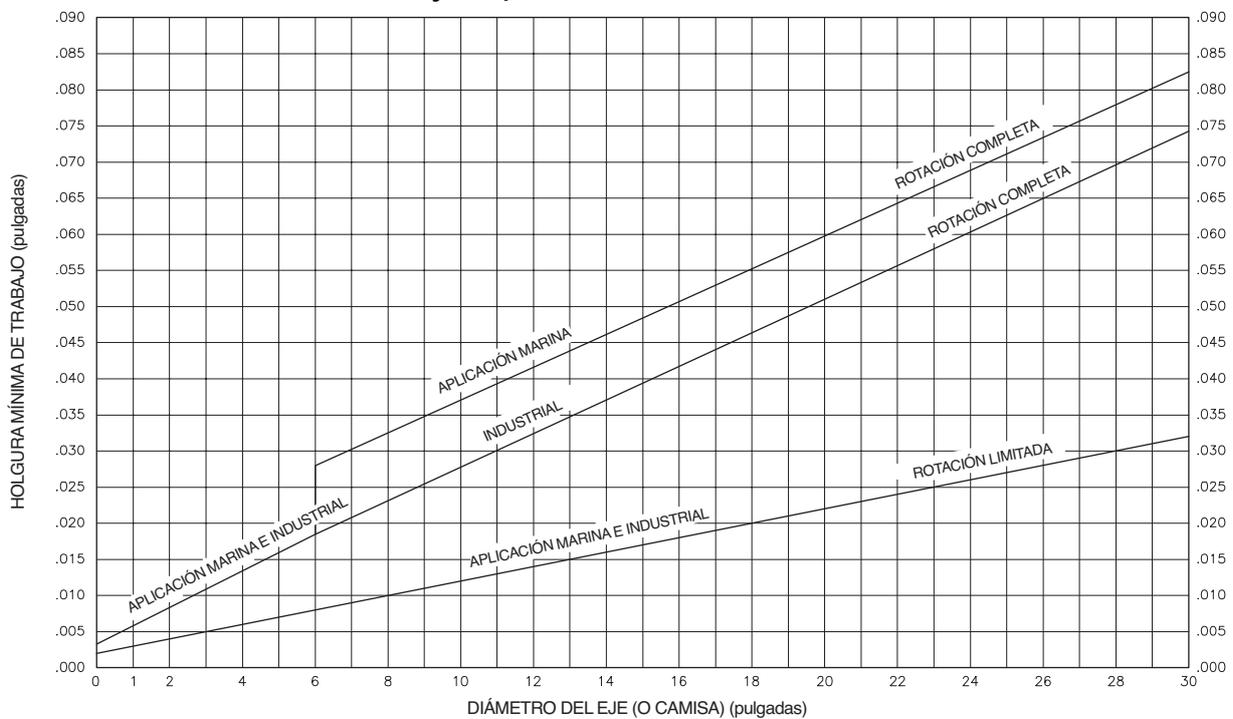
DISEÑO DE APLICACIÓN

Figura 25: Holgura Mínima de Trabajo para Cojinetes Thordon Basado en Diámetro del Eje, Métrico



Nota: Las holguras para cojinetes pequeños están basadas en normas industriales. Para cojinetes más grandes, de 150mm o más, las holguras son más grandes de acuerdo con requerimientos de Sociedades Clasificadoras.
Nota: Cuando se den esas condiciones, unas tolerancias adicionales hay que contemplarlas para la expansión térmica y la expansión por absorción de agua. Ver etapas 4 - 6 de Sección J.

Figura 26: Holgura Mínima de Trabajo para Cojinetes Thordon Basado en Diámetro del Eje, Imperial



Nota: Las holguras para cojinetes pequeños están basadas en normas industriales. Para cojinetes más grandes, de 150mm o más, las holguras son más grandes de acuerdo con requerimientos de Sociedades Clasificadoras.
Nota: Cuando se den esas condiciones, unas tolerancias adicionales hay que contemplarlas para la expansión térmica y la expansión por absorción de agua. Ver etapas 4 - 6 de Sección J.

En aplicaciones con movimiento oscilatorio, donde el aumento de calor debido a fricción no es tan probable que ocurra, la holgura de trabajo se puede reducir como se muestra en las figuras 25 y 26.

Una holgura de trabajo inadecuada conduce al fallo del cojinete caracterizado por un I.D. del cojinete que aparece "embadurnado" o "enjugado".



Ejemplo típico de un cojinete embadurnado.

NOTA 1: En ciertas configuraciones de cojinete tal como bombas verticales y turbinas de hidroeléctricas verticales, se pueden reducir las holguras de funcionamiento. En estas configuraciones, los cojinetes pueden ser diseñados con holguras de trabajo de 0.075% a 0.1% del diámetro del eje. Es posible diseñar cojinetes con holguras de trabajo más reducidas. Por favor consulte al Distribuidor o al Departamento de Ingeniería de Thordon Bearings Inc. para más información.

NOTA 2: Algunas aplicaciones específicas como eje de cola de barco con cojinetes Thordube requieren holguras de trabajo especiales. Por favor consulten a Thordon Bearings Inc. para más detalles.

f) TOLERANCIA PARA EXPANSIÓN TÉRMICA

La tolerancia para expansión térmica C_t es un huelgo adicional que se debe tomar en cuenta cuando el cojinete opera a temperaturas más altas que la temperatura ambiente (temperatura del taller). El cálculo de C_t diametral es proporcional al coeficiente de expansión térmica del Thordon y se calcula usando la fórmula siguiente.

$$C_t \text{ (diamétrico)} = 2 \text{ W.T. } \alpha (T_o - T_a) \text{ donde:}$$

α = Coeficiente de expansión térmica del Thordon en las siguientes condiciones:

Para una gama de temperaturas de 0°C a 30°C (32°F a 86°F)

XL y Composite: $\alpha = 0.000148/^\circ\text{C}$ (0.000082/°F)

SXL y COMPAC: $\alpha = 0.000151/^\circ\text{C}$ (0.000084/°F)

W.T. = espesor de pared

T_o = temperatura máxima de operación

T_a = temperatura ambiental de taller

NOTA: El directorio de los símbolos utilizados se puede ver en el interior de la portada de este manual.

Este tolerancia C_t se añade a la holgura mínima de trabajo determinado en las Figuras 25 o 26.

En aplicaciones donde el cojinete es retenido axialmente y está funcionando a temperaturas por encima de la temperatura ambiental se debe tener en cuenta la expansión térmica axial

para deducirla de la longitud del cojinete y dejar espacio suficiente para la expansión axial antes de hacer tope con el anillo axial de retención. La axial se calcula usando la fórmula siguiente:

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

NOTA 1: Si no se prevé una holgura suficiente de expansión axial, el cojinete continuará expandiéndose axialmente, forzando los anillos de retención del cojinete y en vez de expandirse axialmente, el diámetro interior se cerrará aún más reduciendo el juego de trabajo del cojinete. Esto puede conducir al fallo del cojinete.

NOTA 2: La tolerancia calculada utilizando el Programa de Cálculo Thordon puede ser un poco diferente de la calculada a mano. Esto es debido a que el programa de cálculo utiliza una fórmula más compleja para calcular la expansión térmica. La tolerancia calculada en el programa de cálculo es más exacta que la calculada a mano.

g) TOLERANCIA PARA ABSORCIÓN DE AGUA

Thordon normalmente absorbe agua en la proporción de 1.3% por volumen aunque en agua caliente la expansión por volumen puede alcanzar una relación del 2%. Aunque es considerablemente menor que en la mayoría de los productos competitivos no metálicos, esta expansión se debe tomar en cuenta porque se manifiesta tanto en una reducción en el diámetro interior así como en un ligero aumento en la interferencia.

La tolerancia para cierre del diámetro interior debido a la absorción de agua C_s se calcula usando la fórmula siguiente:

$$C_s \text{ (diamétrico)} = \text{F.A.A.} \times \text{W.T.}$$

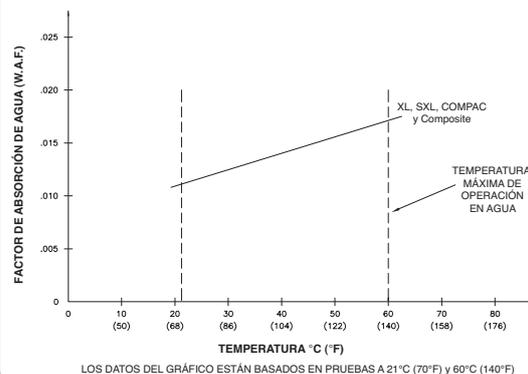
Donde F.A.A. es el Factor de Absorción del Agua, véase Figura 27 para la máxima temperatura de funcionamiento y W.T. es el espesor de pared.

Por ejemplo: Si la temperatura de operación más alta es 21°C(70°F) el F.A.A. será 0.011. Esta tolerancia se suma a la holgura mínima de trabajo de la Figura 25 o 26.

En aplicaciones donde el cojinete trabaja en agua y es retenido axialmente, **la tolerancia axial para la absorción de agua** debe ser deducida de la longitud del cojinete para permitir la expansión axial antes de que pegue con los anillos de retención. Dicha tolerancia para un cojinete instalado por interferencia se calcula usando la fórmula siguiente.

$$C_s \text{ (axial)} = .005 \times \text{Longitud del Cojinete}$$

Figura 27: Factor de Absorción de Agua Para Varias Temperaturas del Agua



DISEÑO DE APLICACIÓN

NOTA: Si no se prevé la holgura suficiente, el cojinete continuará expandiéndose axialmente, forzando los dispositivos de retención del cojinete y en vez de expandirse axialmente, el diámetro interior se cerrará aún más reduciendo la holgura de trabajo del cojinete. Esto puede conducir a un fallo del cojinete.

h) HOLGURA MÍNIMA DE INSTALACIÓN

Como se indica en los ejemplos siguientes, el I.D. del cojinete se calcula sumando al diámetro máximo del eje, el cierre del diámetro interior (si es aplicable), la holgura de trabajo, la tolerancia para expansión térmica y la tolerancia para expansión por absorción. Cuando el cojinete está instalado en el alojamiento el cierre del diámetro interior se produce y ya no se tiene en cuenta. Lo que queda es la holgura de trabajo, la expansión térmica y la expansión por absorción. La suma de estos tres factores es lo que se denomina "Holgura Mínima de Instalación". Esto está indicado claramente en los cálculos del dimensionamiento del cojinete Thordon. Cuando el cojinete está funcionando la tolerancia para expansión térmica desaparece cuando se alcanza la máxima temperatura de trabajo, y la tolerancia para expansión por absorción desaparece una vez que el cojinete ya ha absorbido gradualmente todo el líquido que es capaz de absorber. La holgura de trabajo será la única holgura restante.

La holgura mínima de instalación se usa como la comprobación final más importante antes de poner en servicio el cojinete. Si la holgura medida es inferior a la Holgura Mínima de Instalación lo más probable es que el cojinete falle. Debe corregirse dicha holgura antes de poner en funcionamiento el cojinete.

i) UTILIZANDO EL PROGRAMA DE CÁLCULO THORDON

Existe un programa de cálculo para el dimensionamiento de los cojinetes Thordon. Dicho programa tiene en cuenta todos los factores que cubren la sección del diseño de aplicación de este manual y simplifica enormemente el proceso de cálculo. Dicho programa lo puede conseguir solicitándolo a su distribuidor de Thordon.

El Programa de Cálculo para el Dimensionamiento de los Cojinetes Thordon es fiable siempre que la información que se suministre sea la correcta. Al igual que en el cálculo manual de las dimensiones es fundamental que los datos que se suministren sean los correctos. El Programa de Cálculo es el resultado de más de 15 años de trabajos en el cálculo de dimensiones por computadora en Thordon.

El Programa de Cálculo va más allá que el cálculo manual en muchos casos. Por ejemplo, incrementará la interferencia si hiciera falta para asegurar que una pared relativamente estrecha del cojinete quede con suficiente interferencia. También indicará cuando la pared del cojinete es demasiado estrecha para montarlo por interferencia. En ese caso recomendará un montaje por pegado. El Programa también tendrá en cuenta las tolerancias y rechazará aplicaciones en las que la tolerancia del alojamiento es mayor que 1/3 de la holgura de trabajo.

El programa dispone de pantallas de ayuda para determinadas preguntas sobre temas específicos.

NOTA: Los valores calculados mediante el programa de cálculo pueden ser ligeramente diferentes a los calculados manualmente usando este manual debido a variaciones en lectura de tablas, gráficos etc. En general el Programa de Cálculo es más exacto que el procedimiento de cálculo manual.

Ejemplos de cálculo usando el Programa de Cálculo Thordon:

1) EJEMPLOS

a) MÉTRICO

MONTAJE: Interferencia **MATERIAL:** XL

Datos de partida

1. Type of Service (Tipo de aplicación)	Marine Propeller Shaft (Eje de propulsión de barco)
2. Shaft Diameter (Diámetro eje)	100mm +0.00/-0.13mm
3. Bearing Housing (Alojamiento)	150mm +0.08mm/-0.00 mm
4. Housing Length (Longitud Alojamiento)	400mm
5. Operating Temp. (Temp. Funcionamiento)	Min. -2°C Max. 45°C
6. Ambient Temp. (Temp. Ambiente)	21°C
7. Environment (Medio)	Water (Agua)

El programa de cálculo da los siguientes resultados:

Machined Bearing Inside Diameter
(Diámetro interior a mecanizar el cojinete):
102.30mm +0.13, -0.00

Machined Bearing Outside Diameter
(Diámetro exterior a mecanizar el cojinete):
151.00mm +0.13, -0.00

Minimum Installed Diametrical Clearance
(Holgura mínima de instalación): 0.89mm

Machined Bearing Length
(Longitud a mecanizar el cojinete): 396.26mm +0.00, -0.50

Bearing Wall Thickness
(Espesor de pared del cojinete): 24.35mm

b) IMPERIAL

MONTAJE: Interferencia **MATERIAL:** XL

Datos de partida

1. Type of Service (Tipo de Aplicación)	Marine Propeller Shaft (Eje de propulsión de barco)
2. Shaft Diameter (Diámetro Eje)	4" +0.000"/-0.005"
3. Bearing Housing (Alojamiento)	6" +0.003"/-0.000"
4. Housing Length (Longitud Alojamiento)	16"
5. Operating Temp. (Temp. Funcionamiento)	Min. 28°F Max. 113°F
6. Ambient Temp. (Temp. Ambiente)	70°F
7. Environment (Medio)	Water (Agua)

DISEÑO DE APLICACIÓN

El programa de cálculo da los siguientes resultados:

Machined Bearing Inside Diameter
(Diámetro interior a mecanizar el cojinete):

4.091" +0.005"/-0.000"

Machined Bearing Outside Diameter
(Diámetro exterior a mecanizar el cojinete):

6.040" +0.005"/-0.000"

Minimum Installed Diametrical Clearance
(Holgura mínima de instalación): 0.035"

Machined Bearing Length (Longitud a mecanizar el cojinete):

15.855" +0.000"/-0.010"

Bearing Wall Thickness (Espesor de pared del cojinete): 0.974"

El Programa de Cálculo Thordon se puede utilizar también para hacer los cálculos que se indican a continuación con gran rapidez y exactitud. Por ejemplo, cuando van a mecanizar el I.D. del cojinete después que se haya instalado del cojinete en su alojamiento, el programa nos indica las dimensiones a mecanizar el O.D. del cojinete tanto para aplicaciones por interferencia como por pegado. Para el dimensionamiento I.D. del cojinete haga los cálculos de interferencia o pegado y añádale la holgura mínima de instalación al diámetro del eje para obtener el I.D. del cojinete a mecanizar.

2) EJEMPLO DE TRABAJAR CON EL PROGRAMA DE CÁLCULO

a) **MÉTRICO** Cojinete mecanizado después de ser instalado en alojamiento

MONTAJE: Por interferencia y mecanizado una vez montado en alojamiento

MATERIAL: SXL

Datos de partida

1. Type of Service (Tipo de Aplicación)	Ind.Vertical Pump (Bomba Vertical)
2. Shaft Diameter (Diámetro Eje)	100mm +0.00mm/-0.13mm
3. Bearing Housing (Alojamiento)	150mm + 0.04mm/-0.00mm
4. Housing Length (Longitud Alojamiento)	200mm
5. Operating Temp. (Temp. Funcionamiento)	Min. 10°C Max. 30°C
6. Ambient Temp. (Temp. Ambiente)	21°C
7. Environment (Medio)	Water (Agua)

Utilice el Programa de Cálculo Thordon para calcular las dimensiones a mecanizar el cojinete.

En este caso el programa da los siguientes resultados:

Machined Bearing I.D. (Diámetro interior a mecanizar):

101.55mm +0.13mm/-0.00mm

Machined Bearing O.D. (Diámetro exterior a mecanizar):

150.77mm +0.13mm/-0.00mm

Minimum Installed Diametrical Clearance
(holgura mínima de instalación): 0.53mm

Machined Bearing Length (Longitud a mecanizar):

198.66mm +0.00mm/-0.50mm

Paso 1: El O.D. del cojinete se mecaniza a 101,55 mm como nos indica el programa de cálculo.

Paso 2: Monte el cojinete en el alojamiento

Paso 3: Mecanice el I.D. del cojinete a la dimensión del diámetro máximo del eje más la holgura mínima de instalación = $100 + 0.53 = 100.53\text{mm}$. (El programa de cálculo calculará la holgura mínima de instalación. La diferencia entre el valor en el paso 3 y la I.D. a mecanizar como indicado por el Programa es el valor del cierre del diámetro interior que ya desapareció cuando se instaló el cojinete en su alojamiento.)

NOTA: Cuando el mecanizado final del interior del cojinete se hace después de montarlo sobre el alojamiento, hay que tener mucho cuidado ya que con este método se quita material que está comprimido y estresado en el interior del alojamiento. Sólo se debe mecanizar el mínimo material posible. Para cojinetes sin ranuras no se debe mecanizar por este procedimiento más del 5% del espesor de la pared.

Para cojinetes con ranuras no es tan importante ya que el material del interior del cojinete está menos forzado. De todas formas el mecanizado debe limitarse al 10% del espesor de la pared o al 25% de la profundidad de la ranura, el que resulte en menos material removido. **Las ranuras de lubricación deben de ser mecanizadas siempre antes del montaje del cojinete en el alojamiento.**

b) **IMPERIAL:** Cojinete mecanizado después de ser instalado en alojamiento

MONTAJE: Por interferencia y mecanizado una vez montado en alojamiento

MATERIAL: SXL

Datos de partida

1. Type of Service (Tipo de Aplicación)	Ind. Vertical Pump (Bomba Vertical)
2. Shaft Diameter (Diámetro Eje)	4" +0.000/-0.005"
3. Bearing Housing (Alojamiento)	6" + 0.003"/-0.000
4. Housing Length (longitud aloj.)	8"
5. Operating Temp. (Temp. Funcionam.)	Min. 50°F Max. 86°F
6. Ambient Temp. (Temp. Ambiente)	70°F
7. Environment (Medio)	Water (Agua)

Utilice el Programa de Cálculo Thordon para calcular las dimensiones a mecanizar el cojinete.

En este caso el programa da los siguientes resultados:

Machined Bearing I.D. (Diámetro interior a mecanizar):

4,062" +0.005"/-0.000"

Machined Bearing O.D. (Diámetro exterior a mecanizar):

6,032" +0.005"/-0.000"

Minimum Installed Diametrical Clearance
(Holgura mínima de instalación): 0.021"

Machined Bearing Length

(Longitud a mecanizar): 7.945" +0.000"/-0.020"

DISEÑO DE APLICACIÓN

Paso 1: El O.D. del cojinete se mecaniza a 6.032" como nos indica el programa de cálculo.

Paso 2: Monte el cojinete en el alojamiento

Paso 3: Mecanice el I.D. del cojinete a la dimensión del diámetro máximo del eje más la holgura mínima de instalación = $4 + 0.021 = 4.021$ " (El programa de cálculo calculará la holgura mínima de instalación. La diferencia entre el valor en el paso 3 y la I.D. a mecanizar como indicado por el Programa es el valor del cierre del diámetro interior que ya desapareció cuando se instaló el cojinete en su alojamiento.)

NOTA: Cuando el mecanizado final del interior del cojinete se hace después de montarlo sobre el alojamiento, hay que tener mucho cuidado ya que con este método se quita material que está comprimido y estresado en el interior del alojamiento. Sólo se debe mecanizar el mínimo material posible. Para cojinetes sin ranuras no se debe mecanizar por este procedimiento más del 5% del espesor de la pared.

Para cojinetes con ranuras no es tan importante ya que el material del interior del cojinete está menos forzado, de todas formas el mecanizado debe limitarse al 10% del espesor de la pared o al 25% de la profundidad de la ranura, el que resulte en menos material removido. **Las ranuras de lubricación siempre deben de ser mecanizadas antes del montaje del cojinete en el alojamiento.**

j) DIMENSIONAMIENTO MANUAL PASO POR PASO

1) Montaje por Interferencia

Para instalar un cojinete por interferencia dentro del alojamiento, se necesitan seguir los pasos siguientes para asegurar un dimensionado correcto.

Diámetro Exterior del Cojinete O.D.

Paso 1: Se calcula la interferencia usando Figuras 20(1) y (2) o 21(a) y (b) y se suma al máximo diámetro del alojamiento para dar un mínimo diámetro exterior al cojinete. Para temperaturas por debajo de la temperatura ambiente del taller, las Figuras 20(a) y (b) y 21(a) y (b) indican la interferencia requerida en curvas apropiadas para los grados por debajo de la temperatura ambiente del taller.

Diámetro Interior del Cojinete I.D.

Paso 2: El factor de cierre del diámetro interior, determinado por la Figura 23 o 24, se multiplica por la interferencia media (la mínima interferencia más el 50% de la tolerancia del alojamiento, más el 50% de la tolerancia por mecanizado del O.D. del cojinete) y así se tiene el cierre del diámetro interior previsto.

Paso 3: La holgura de trabajo es determinada por la Figura 25 o 26.

Paso 4: Si el cojinete está sujeto a temperaturas más altas que el ambiente considerado, hay que sumar la tolerancia para expansión térmica.

Paso 5: El factor de absorción por agua es determinado por la Figura 27 y multiplicado por el espesor de pared (si es aplicable).

Paso 6: El diámetro interior se calcula al sumar el cierre del diámetro interior previsto, la holgura de trabajo, la tolerancia para expansión térmica (si es aplicable) y la tolerancia para expansión por absorción de agua (si es aplicable) al máximo diámetro del eje.

2) Montaje por Pegado

Para una aplicación en que el cojinete Thordon es pegado dentro del alojamiento, los pasos a seguir son:

Paso 1: El diámetro exterior del cojinete debe tener de 0.25 mm (.010") a 0.50 mm (.020") de holgura respecto al alojamiento, para aplicar una película de adhesivo.

Paso 2: La holgura de trabajo se determina de las Figuras 25 o 26.

Paso 3: Si el cojinete está sujeto a temperaturas más altas que el ambiente considerado, hay que sumar la tolerancia para expansión térmica.

Paso 4: El factor de absorción de agua se obtiene de la Figura 27 y se multiplica por el espesor de pared para calcular la tolerancia para absorción de agua (si es aplicable).

Paso 5: El diámetro interior del cojinete se calcula al sumar la holgura de trabajo, la tolerancia para expansión térmica (si es aplicable) y la tolerancia para expansión por absorción de agua (si es aplicable) al diámetro máximo del eje.

3) Mecanizado del diámetro interior una vez montado el cojinete sobre el alojamiento o en un alojamiento falso.

Como se ha indicado en la guía de diseño, es preferible a veces hacer el mecanizado final del I.D. del cojinete después de que haya sido montado en el alojamiento o en un cojinete falso. Los cálculos para el dimensionamiento son idénticos bien se trate de un alojamiento final o alojamiento falso.

Paso 1: Mecanice el O.D. del cojinete a las dimensiones calculadas en el paso 1 de la sección j) 1 o 2.

Paso 2: Monte el cojinete en el alojamiento o en el falso por enfriamiento, con prensa o pegado.

Paso 3: La holgura de trabajo se calcula de las fig. 25 o 26.

Paso 4: Si el cojinete está sujeto a temperaturas más altas que el ambiente considerado, hay que sumar la tolerancia para expansión térmica.

Paso 5: El factor de absorción de agua se saca de la fig 27 y se multiplica por el espesor de la pared para calcular la tolerancia para absorción de agua (si es aplicable)

Paso 6: El I.D. del cojinete se calcula sumando al diámetro máximo del eje, la holgura de trabajo, la tolerancia para expansión térmica y la tolerancia para expansión por absorción de agua estimada (Ya que el cojinete está ya fijado en el alojamiento el cierre del diámetro interior no hay que tenerlo en cuenta.).

Paso 7: Si se ha utilizado el montaje por frío deje suficiente tiempo para que coja la temperatura ambiente antes de pasar al mecanizado.

NOTA: Cuando el mecanizado final del interior del cojinete se hace después de montarlo sobre el alojamiento, hay que tener mucho cuidado ya que con este método se quita material que está comprimido y estresado en el interior del alojamiento. Sólo se debe mecanizar el mínimo material posible. Para cojinetes sin ranuras no se debe mecanizar por este procedimiento más del 5% del espesor de la pared.

Para cojinetes con ranuras no es tan importante ya que el material del interior del cojinete está menos forzado, de todas formas el mecanizado debe limitarse al 10% del espesor de la pared o al 25% de la profundidad de la ranura (el que resulte en menos pérdida de material).

Para muchas aplicaciones es necesario hacer un mecanizado preliminar de I.D. antes de instalar el cojinete en su alojamiento para no tener que mecanizar demasiado después de la instalación. **Las ranuras de lubricación siempre deben de ser mecanizadas antes del montaje del cojinete en el alojamiento.**

k) EJEMPLOS DE CÁLCULOS MANUALES

(a) MÉTRICO

INSTALACIÓN: INTERFERENCIA **MATERIAL:** SXL

Datos de partida

1. Tipo de Aplicación	Eje de cola de barco
2. Diámetro del Eje	250mm + 0.00 / -0.10mm
3. Alojamiento del Cojinete	300mm +0.10/-0.00mm,
4. Longitud del alojamiento	1000mm
5. Temperatura de Trabajo	Mínimo -2°C Máximo 30°C
6. Temperatura Ambiente del Taller	21°C
7. Lubricante	Agua

Diámetro Exterior

Paso 1

Interferencia para un alojamiento de diámetro 300 mm que opera a 23° C por debajo de la temperatura ambiente según Figura 21(a). = 1.85mm

Paso 1-1

O.D. del Cojinete = Máximo Alojamiento + Interferencia
= 300.10 + 1.85
= 301.95 mm

Con la tolerancia normal de mecanizado

Cojinete O.D. = 301.95 + 0.13/-0.00mm

Diámetro Interior

Paso 2

Factor de cierre del diámetro interior según Figura 23 = 1.147

Cierre del diámetro interior:

Interferencia media = Interferencia (Paso 1) + 50% de las tolerancias del alojamiento y del O.D del cojinete.

$$= 1.85 + \frac{(.10 + .13)}{2} = 1.97\text{mm}$$

El cierre del diámetro interior real es 1.97 X 1.147 = 2.26 mm

Paso 3

Holgura de trabajo básico para un eje de 250mm de la Figura 25 = 0.96mm

Paso 4

Tolerancia para expansión térmica $C_t = 2W \alpha (T_o - T_a)$

$$C_t = 2 \times 25 \times .000151 \times 9 = 0.07\text{mm}$$

Paso 5

Tolerancia para expansión por absorción de agua = F.A.A. (de figura 27 x espesor de pared)
 $C_s = 0.0124 \times \text{espesor de pared}$

$$C_s = 0.0124 \times 25 = 0.31\text{mm}$$

Tolerancia Total = Pasos 2 + 3 + 4 + 5 = 3.60mm

Paso 6

I.D. del Cojinete = diámetro del eje + tolerancia total ID
= 250.00 + 3.60mm
= 253.60mm

con tolerancias normales de mecanizado

I.D del Cojinete = 253.60 +0.13/-0.00mm

Holgura mínima instalada

Para comprobación final = pasos 3 + 4 + 5 = 1.34mm

Longitud del cojinete

Paso 1

Tolerancia para expansión térmica axial
 $C_t = 1000 \times .000151 \times 9 = 1.36\text{mm}$

Paso 2

Tolerancia para expansión por absorción de agua prevista $C_s = .005 \times 1000 = 5.00\text{mm}$

Paso 3

Longitud del cojinete a mecanizar = longitud del alojamiento - tolerancia para expansión térmica axial prevista - tolerancia para expansión por absorción de agua prevista
= 1000 - 1.36 - 5.00 = 993.64mm

Con tolerancias de mecanizado estándar

la longitud quedará en
= 993.64 +0.00/-1.00mm

NOTAS:

a) Los cálculos para cojinetes en aplicaciones de rotación limitada son idénticos a los hechos hasta ahora salvo por una reducción en la holgura de trabajo del paso 3 como se muestra en la figura 25 o 26.

b) Si el cojinete no está inmerso en un líquido, la expansión por absorción de agua prevista en el paso 5 no se tiene en cuenta.

c) Para minimizar la tolerancia que se produce en la holgura de trabajo cuando se instala el cojinete con la prensa y siempre que sea posible se puede mecanizar el interior del cojinete una vez montado a presión. Ver sección j) 3 antes descrita.

(b) IMPERIAL

INSTALACIÓN: INTERFERENCIA **MATERIAL:** SXL

Datos de partida

1. Tipo de Aplicación	Eje de cola de Marina
2. Diámetro del Eje	10" +0.000"/-0.005"
3. Alojamiento del Cojinete	12" +0.005"/-0.000"
4. Longitud alojamiento	40"
5. Temperatura de trabajo	Mínimo 28°F Máximo 86°F
6. Temperatura Ambiente taller	70°F
7. Lubricante	Agua

DISEÑO DE APLICACIÓN

Diámetro Exterior

Paso 1

Interferencia para un cojinete con un diámetro de 12" que opera a 42°F por debajo de la temperatura ambiente según Figura 21(b).

$$= 0.074''$$

Paso 1-1

$$\begin{aligned} \text{O.D. del Cojinete} &= \text{Alojamiento Máximo} + \text{Interferencia} \\ &= 12.005'' + 0.074'' \\ &= 12.079'' \end{aligned}$$

Con tolerancias normales de mecanizado

$$\text{O.D. del Cojinete} = 12.079'' + 0.005''/-0.000$$

Diámetro Interior

Paso 2

Factor de cierre del diámetro interior según

Figura 24 = 1.148

Cierre del diámetro

interior real = interferencia media x factor de cierre del diámetro interior

Interferencia media = Interferencia (Paso 1.1) + 50% de las tolerancias del alojamiento y del O.D. (Diámetro exterior) del cojinete.

$$= .074 + \frac{(.005 + .005)}{2} = .079''$$

Cierre del diámetro interior real es

$$0.079'' \times 1.148 = 0.091''$$

Paso 3

Juego de trabajo básico para un eje de 10" de Figura 26

$$= 0.038''$$

Paso 4

Tolerancia para expansión térmica

$$C_t = 2W \alpha (T_o - T_a)$$

$$C_t = 2 \times 1 \times .000084 \times 16 = 0.003''$$

Paso 5

Tolerancia para expansión por absorción

de agua = F.A.A. (de figura 27) x espesor de pared

$$C_s = 0.0125 \times \text{espesor de pared}$$

$$C_s = 0.0124 \times 1'' = 0.012''$$

Tolerancia Total = Pasos 2 + 3 + 4 + 5

$$= 0.144''$$

Paso 6

I.D. del Cojinete = diámetro del eje + tolerancia total I.D.

$$= 10'' + 0.144''$$

$$= 10.144''$$

con tolerancias normales de mecanizado

$$\text{I.D. del Cojinete} = 10.144'' + 0.005''/-0.000$$

Holgura mínima instalada

$$(\text{para comprobación}) = \text{pasos 3} + 4 + 5 = 0.053''$$

Longitud cojinete

Paso 1

Tolerancia para expansión térmica axial

$$C_t = 40 \times .000084 \times 16 = 0.054''$$

Paso 2

Tolerancia para expansión axial por absorción de agua $C_s = .005 \times 40$

$$= 0.200''$$

Paso 3

Longitud del cojinete a mecanizar = longitud del alojamiento - tolerancia para expansión térmica axial prevista - tolerancia para expansión por absorción de agua prevista

$$= 40 - 0.054 - 0.200 = 39.746''$$

Con tolerancias de mecanizado estándar la longitud quedará en = 39.746'' +0.000/-0.040''

NOTAS:

a) Los cálculos para cojinetes en aplicaciones de rotación limitada son idénticos a los hechos hasta ahora salvo por una reducción en la holgura de trabajo del paso 3 como se muestra en la fig. 25 o 26.

b) Si el cojinete no está inmerso en un líquido, la expansión por absorción de agua prevista en el paso 5 no se tiene en cuenta.

c) Para minimizar la tolerancia que se produce en la holgura de trabajo cuando se instala el cojinete con la prensa y siempre que sea posible, se puede mecanizar el interior del cojinete una vez montado a presión. Ver sección j) 3 antes descrita.

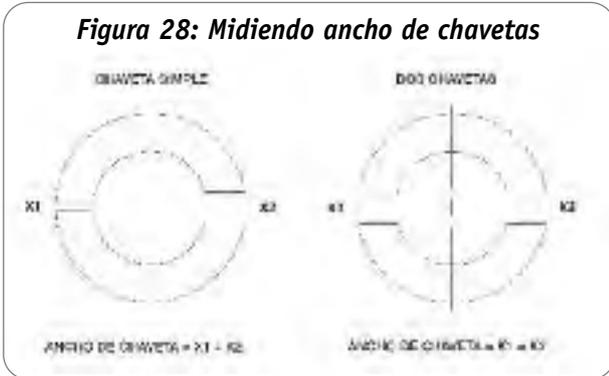
I) CÁLCULO DE COJINETE CON CHAVETA

Los cojinetes Thordon para eje de cola de barcos son instalados a menudo montados por interferencia y también con uno, o dos, pares de chavetas de seguridad.

Para dimensionar los cojinetes Thordon y los anchos de las hendiduras para obtener la interferencia correcta para una aplicación de cojinetes con chavetas, se usa el procedimiento siguiente.

1. Calcule las dimensiones del cojinete basándose como si fuera un tubo normal y una instalación por interferencia. Los cálculos se pueden hacer usando el Programa de Cálculo por Computadora de Thordon o en la forma paso a paso detallado en la sección 5(j) de este manual.
2. Mecanice el cojinete de acuerdo a las dimensiones calculadas.
3. Mida la anchura circunferencial de la(s) chaveta(s) y mida o aproxime el espesor del material que se pierde con el corte en la parte opuesta a la chaveta en el caso de una chaveta simple. (K1 + K2 o X1 + X2 en figura 28)
4. Corte la(s) hendidura(s) en el cojinete de tal forma que el total del material de cojinete eliminado sea igual al espesor de las chavetas (como indicado en paso 3 adelante). Asegúrese que la interferencia circunferencial combinada de los cojinetes y las chavetas sea la misma que en un cojinete entero no partido.
5. Si se montan más de una chaveta, se le hace tantas hendiduras al cojinete como chavetas con anchuras idénticas a las anchuras de las chavetas. Las hendiduras tienen que ser situadas lógicamente para adaptarse a las posiciones de las chavetas.

Figura 28: Midiendo ancho de chavetas



Nota: El mismo procedimiento se sigue cuando hablamos de un cojinete partido montado por interferencia pero sin chavetas. Es importante mantener la circunferencia después de darle el corte para partirlo. La forma más sencilla es mecanizar el cojinete entero como tubo y luego partirlo. Utilice el Programa de Cálculo Thordon para calcular las dimensiones como si fuera un cojinete entero. *Añada al O.D. y I.D. el efecto circunferencial del espesor del corte. Es decir espesor total de los cortes dividido por el factor π (3.14159).*

m) COJINETES DE ALTA PRESIÓN

Thordon dispone de dos grados para aplicaciones en cojinetes de alta presión. El primero es el ThorPlas®, un nuevo material homogéneo y no elastomérico. **Los detalles del Thorplas se suministran en un manual separado.** El otro grado para cojinetes de aplicaciones de alta presión es el Thordon HPSXL TRAXL que se especifica en muchas aplicaciones industriales y marinas. El HPSXL TRAXL es la solución ideal para aplicaciones donde la carga es alta y no se utiliza lubricación convencional.

Aplicaciones típicas son en cojinetes de mandos de álabes, palas y articulaciones en Turbinas hidroeléctricas, en soportes de compuertas grandes, rodillos de popa, grúas, y articulaciones para equipos de construcción.

Los cojinetes Thordon de Alta Presión HPSXL TRAXL están compuestos de un casquillo metálico con una capa delgada de Thordon – usualmente grado HPSXL.

Como se indica en la sección que cubre el proceso de selección de la página 23, es posible trabajar con presiones de trabajo hasta 55.0 MPa (8000 psi) y presiones punta estáticas hasta 70.0 MPa (10,000 psi) o más con el Thordon HPSXL TRAXL.

Se puede llegar a estas presiones por la combinación de diversos factores:

Las aplicaciones típicas son, movimientos oscilantes o una operación a muy baja velocidad, en donde el calor producido por fricción no es considerado.

El cojinete se diseña con un factor de forma muy alto (normalmente superior a 100) lo que significa que el espesor de pared de la capa Thordon es muy delgado (normalmente 1.5mm (0.060”) o menos).

Se han obtenido resultados óptimos usando el diseño del Thordon HPSXL TRAXL con proceso especial en donde el HPSXL es pegado directamente en una camisa metálica con ranuras especiales. Este cojinete con el HPSXL como superficie de desgaste se monta después por presión en el alojamiento del cojinete. Para aplicaciones con presiones menos altas se puede utilizar el pegado en frío de un tubo Thordon de pared delgada dentro de la camisa. El rango de presiones para cada uno de estos métodos se presenta en la figura 29.

Figura 29: Tabla de Presiones para los Diferentes Métodos de Fabricación

Método de Fabricación	Presión			
	Operación Normal MPa	Operación Normal psi	Puntual Estático MPa	Puntual Estático psi
TRAXL	27.5 - 55.0	4000 - 8000	70.0	10,000
Pegado en frío	13.7 - 20.6	2000 - 3000	27.5	4,000

NOTA: Algunos cojinetes Thordon pueden diseñarse para operar a más altas presiones en algunas aplicaciones específicas. Por favor, consulte al Distribuidor o al Departamento de Ingeniería de Thordon Bearings Inc. para información más detallada.

El proceso por pegamento en frío es usado cuando la aplicación requiere una combinación entre capacidad para soportar altas presiones y un espesor de pared más grueso (más grande que 1.5mm -0.060”). El límite de presión de operación disminuye con el aumento del espesor de pared, ya que el factor de forma disminuye.

Se pueden conseguir holguras de trabajo más ajustadas con cojinetes HPSXL TRAXL comparado a las holguras de un cojinete en forma de tubo normal de Thordon. Hay varios factores que contribuyen a esto:

Todas las operaciones de mecanizado se hacen después de que el Thordon es polimerizado o pegado dentro del casquillo de metal del cojinete. Por lo tanto la tolerancia generada es mínima.

Debido a la rigidez del casquillo de metal, y el soporte que le provee al Thordon, se puede mecanizar a tolerancias más ajustadas tanto en el O.D. como en el I.D.

La holgura de trabajo se reduce ya que la rotación es limitada (el aumento de calor por fricción no es preocupante). Igualmente, debido al espesor de pared delgada, la expansión térmica y la absorción de agua no son significativos.

Los siguientes parámetros de diseño deben ser considerados en el diseño de un cojinete Thordon para una aplicación de alta presión:

- Interferencia
- Cierre del diámetro interior
- Holgura de trabajo
- Dimensiones del alojamiento y del eje
- Dimensionamiento del cojinete y tolerancias

NOTA 1: La expansión por absorción de agua y la expansión térmica se consideran insignificantes ya que el espesor de pared Thordon en un cojinete HPSXL TRAXL es normalmente 1.5mm (0.060”) o menor. Si el espesor del HPSXL es mayor que esto, hay que considerar la expansión por absorción de agua y la expansión térmica en los cálculos de dimensiones.

NOTA 2: Los cálculos para los cojinetes HPSXL TRAXL son diferentes a los del cojinete entero Thordon debido al espesor relativamente pequeño de HPSXL que se monta en el casquillo metálico. Los cálculos como la interferencia y el cálculo del cierre del diámetro interior están basados más en las propiedades del casquillo metálico que en las propiedades del Thordon.

DISEÑO DE APLICACIÓN

i) Interferencia

La interferencia entre un cojinete Thordon HPSXL TRAXL y el alojamiento va a depender de las condiciones de trabajo. Si la presión aumenta, debe también aumentar la interferencia. La interferencia normal recomendada para una instalación varía de 0.025% a 0.100% del diámetro dependiendo del tamaño del cojinete. Para cojinetes mayores el porcentaje de interferencia se reduce.

Nota: Los cojinetes HPSXL TRAXL no deben ser montados con frío. Hay un riesgo significativo que cuando se congele con hielo seco o nitrógeno líquido se dañe el pegamento entre el Thordon HPSXL y el casquillo metálico.

ii) Cierre del diámetro interior

La experiencia demuestra que el cierre del diámetro interior en una instalación por interferencia entre dos metales es normalmente del rango del 75 al 95% de la interferencia. Para asegurar que el juego de trabajo es adecuado, el cierre del diámetro interior considerado para los cálculos para cojinetes HPSXL TRAXL será del 100%.

iii) Holgura de trabajo

La holgura normal de trabajo recomendado es del 0.1% del diámetro de eje con una recomendación mínima de 0.075mm (0.003").

En aplicaciones donde se requieren tolerancias más ajustadas consulte a su distribuidor Thordon o a Thordon Bearings Inc..

iv) Dimensiones del Alojamiento y del Eje:

Para obtener holgura o juego óptimo es necesario un control ajustado de las tolerancias no solamente del cojinete sino también del alojamiento y del eje. Tolerancias excesivas del alojamiento o eje se transforman directamente en holguras adicionales al juego de trabajo necesario. Si en un proyecto hay una serie de cojinetes, como es el caso de los cojinetes de un conjunto de palas de distribución, cada posición se mide y se enumera para que cada cojinete HPSXL TRAXL se mecanice específicamente para cada posición numerada.

v) Dimensionamiento del Cojinete y Tolerancias:

Los Diámetros Exterior e Interior de un cojinete Thordon de alta presión son calculados como sigue:

$$\text{O.D. del Cojinete} = \text{Diámetro del Alojamiento (máximo)} + \text{Interferencia Normal}$$

$$\text{I.D. del Cojinete} = \text{Diámetro del Eje (máximo)} + \text{Interferencia Máxima (OD máximo del cojinete)} - \text{diámetro mínimo del alojamiento} + \text{Holgura de Trabajo}$$

Las tolerancias normales de mecanizado de los cojinetes Thordon de Alta Presión son:

$$\text{Diámetro Exterior: } +0.025\text{mm}/-0.000\text{mm} \\ (+0.001"/-0.000")$$

$$\text{Diámetro Interior: } +0.075\text{mm}/-0.000\text{mm} \\ (+0.003"/-0.000")$$

n) COJINETES DE BOMBAS VERTICALES: ARRANQUE EN SECO

El Thordon SXL se utiliza con mucha frecuencia en bombas verticales debido a su capacidad para trabajar en seco en los arranques. El tiempo que el SXL puede trabajar en seco en una bomba vertical normalmente es suficiente para las exigencias del arranque en seco del fabricante de la bomba. El Programa de Cálculo Thordon ajusta automáticamente las holguras cuando se selecciona la aplicación de bomba vertical con arranque en seco. Para más información referente al arranque en seco contacte a su distribuidor de Thordon.

INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

6) MECANIZADO Y MEDICIONES

- a) *Mecanizado en General*
- b) *Mecanizado del XL, SXL o COMPAC*
- c) *Mecanizado del Composite*
- d) *Mediciones de las dimensiones y el acabado superficial*

NOTA: Hay unos vídeos de mecanizado Thordon disponibles para usted a través de su distribuidor Thordon. Esta es una herramienta excelente para entender los requisitos del mecanizado de los cojinetes Thordon.

a) MECANIZADO EN GENERAL

Thordon es un producto duro hecho de polímeros elastómeros que se puede mecanizar fácilmente. Es necesario, sin embargo, recordar que Thordon no es un producto metálico, y se debe mecanizar de forma diferente al metal. Debido a la naturaleza elastomérica del Thordon tiene una tendencia a “escaparse” de donde le ejercen la presión. Esto se aplica a cualquier tipo de herramienta que se utilice para mecanizarlo. Thordon no puede ser pulido ni astillado. Debe ser **cortado** con una herramienta **muy afilada**.

Cuando se mecaniza un cojinete de pared delgada hay que tener en cuenta que un exceso de presión puede deformar el cojinete. En algunas ocasiones es necesario usar unas mordazas especiales en el torno para agarrar el tubo, usar un dispositivo interior tipo araña, usar un mandril o montar el tubo utilizando un plato de sujeción.

Las velocidades de corte son también importantes. Una combinación de un avance lento y una baja velocidad de corte tienden a producir un corte áspero debido a la dureza y naturaleza elastomérica del Thordon. Una combinación de altas velocidades y avance lento pueden producir calor excesivo por fricción lo cual conduce a una superficie con apariencia de goma. Las combinaciones más apropiadas de velocidad/corte son similares a las usadas cuando se mecaniza el aluminio.

Las holguras, tal como se especifica en las recomendaciones de diseño, pueden parecer excesivas en comparación a los metales. El Thordon, sin embargo, se expande debido al cambio de temperatura y a la inmersión en agua. También el Thordon se ve sometido al cierre del diámetro interior llegando a porcentajes superiores al 100% de su interferencia. Esto se debe a la naturaleza incompresible del Thordon. **La holgura mínima a instalar** debe tener en cuenta todos estos factores. También, la holgura calculada tiene en cuenta la necesaria película de lubricación si el cojinete es lubricado por agua o aceite y también la holgura de seguridad por el aumento de calor por fricción. La holgura de trabajo recomendada no debe ser rebajado sin antes consultar con su distribuidor Thordon o con Thordon Bearings Inc.

NOTA: Si no se prevé una holgura adecuada es muy probable que el cojinete se deteriore.

Casi todas las operaciones que pueden ser efectuadas con metales, incluyendo mecanizar, taladrar, roscar, esmerilar, darle forma, cortar con sierra, pegar etc. pueden ser efectuados con Thordon. Con Thordon también se pueden usar herramientas de mano convencionales. Deben usarse hojas con tratamiento tipo carburo para el corte con sierra, para evitar el incremento de calor.

b) MECANIZADO DEL XL, SXL o COMPAC

i) Herramienta de corte

Para mecanizar Thordon es esencial que la herramienta de corte sea la correcta. La herramienta debe ser diseñada para expulsar la viruta del material fuera de la superficie mecanizada. Cuando se está mecanizando Thordon una viruta continua se proyecta desde la herramienta de corte. La herramienta de corte **debe estar bien afilada**. Después de esmerilar, la herramienta de corte debe ser afilada con una piedra aceitosa para asegurar un buen afilado.

Algunas de las nuevas herramientas de corte disponibles últimamente en el mercado dan resultados excelentes al mecanizar Thordon. Estas herramientas son extremadamente afiladas inicialmente y mantienen muy bien su filo. Thordon recomienda una herramienta fabricada por Kennametal que se puede encontrar en cualquier parte del mundo. La punta de herramienta es de Nitruro de Titanio PVD recubierto de carburo y la referencia es #CPGT3521HP-KC730 Kennametal. La referencia del porta herramienta es #SCMPN-083V.

Hay varias puntas de herramienta y porta herramientas que se ofrecen en la serie KC730 Kennametal. Las normas ISO aplicables son M05 - M20, S15 - S25. Si tuviera problemas para localizar esas referencias o productos similares, consulte por favor a Thordon Bearings o al distribuidor local de Thordon Bearings.



Punta de Herramienta Kennametal

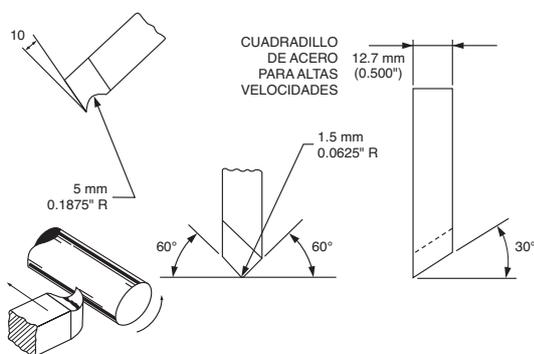
INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

Es importante durante el mecanizado del Thordon y particularmente cuando se está mecanizando el diámetro interior, asegurarse que la viruta que se desprende del mecanizado sea retirada de la superficie de trabajo. En caso contrario, interferirá con la herramienta de corte dejando una superficie áspera en el acabado.

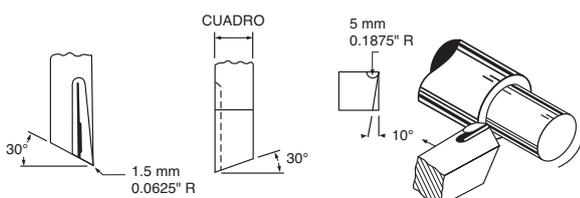
NOTA: Debido a la naturaleza elástica del material Thordon hay que tener cuidado a la hora de retirar las rebabas de la zona de trabajo.

Las figuras que se presentan a continuación muestran la configuración apropiada para las herramientas de corte cuando se usan herramientas de puntas convencionales. Los aceros para alta velocidad se usan para el SXL y el Composite. Las herramientas de puntas de Tungsteno con carburo se usan para el XL.

1) Herramienta de Corte para Uso General



2) Herramienta de Corte para Mecanizar en diferentes fases



ii) Velocidades de Mecanizado y Avances

Las Velocidades de torneado recomendadas para cojinetes de diferentes diámetros son las que aparecen en el cuadro que viene a continuación.

NOTA 1: Las velocidades de giro y de avance deben ser tomadas como guía de referencia solamente. La velocidad óptima variará más o menos dependiendo de las variables como la longitud de tubo, el espesor de pared, y de cómo se amarra el cojinete, por ejemplo; fijado en el plato solamente, agarrado por mordazas interiores o apoyado en un mandril en toda su longitud. Como ocurre con todas las operaciones de mecanizado, se requiere cierta experiencia para obtener resultados óptimos.

NOTA 2: La lubricación durante el proceso de mecanizado no es necesaria ni recomendada

Diámetro del Cojinete

Métrico	Imperial	RPM	Acabado Áspero	Acabado Fino
75mm	3"	600	0.6mm/rev.	0.4mm/rev.
150mm	6"	450	(0.025"/rev)	(0.015"/rev.)
300mm	12"	300	para herramienta de alta velocidad	para herramienta de alta velocidad
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 herramienta con punta	para herramienta con punta

iii) Fijación sobre máquina

Mecanizado de una longitud parcial partiendo de un tubo:



Un cojinete que se fabrica como parte de un tubo se puede sujetar por uno de sus extremos en un plato normal de 3 mordazas, mecanizando aproximadamente el diámetro exterior primero, seguido del mecanizado de acabado del diámetro interior, luego mecanizado de acabado del diámetro exterior y finalmente cortado a la longitud deseada. Se debe poner mucho cuidado en no apretar demasiado las mordazas para no deformar el tubo.

Mecanizado del I.D. (diámetro interior) de un tubo de pared delgada en un plato con mordazas de apriete suave:



Para mecanizar el I.D. (diámetro interior) de un tubo con pared delgada, se debe mecanizar el O.D. (diámetro exterior) con unas pasadas de desbaste, se debe apretar el tubo suavemente con unas mordazas largas y mecanizar el I.D. con acabado fino. Las mordazas largas agarrarán al tubo sin deformarlo.

INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

Mecanizado de un tubo de pared delgada usando una camisa de metal exterior:



También se puede mecanizar el I.D. de un tubo con pared delgada mecanizando primero el O.D. a la medida correcta, introduciendo el cojinete suavemente a presión en un alojamiento de metal ya mecanizado, apretando el alojamiento en el plato y luego mecanizando el I.D. del tubo. De esta manera es posible obtener tolerancias más ajustadas que las obtenidas por el método de mordazas de apriete suave, pero éste método es más laborioso y usualmente no es necesario.

Mecanizado del diámetro exterior de un cojinete con ranuras de lubricación en su longitud apoyado entre centros:



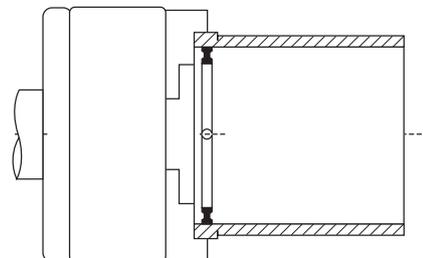
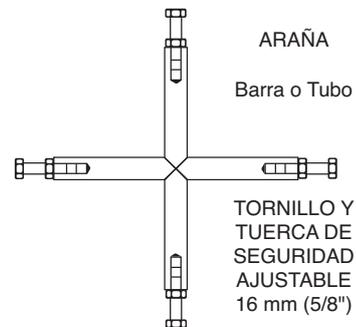
Una vez se ha mecanizado el I.D. del cojinete con ranuras de lubricación éste puede ser sujetado entre centros, guiado por una chaveta en una de las ranuras y se efectúa el mecanizado final del O.D. Este método es aceptable para cojinetes de eje de propulsión pero no es válido para alcanzar tolerancias tan estrechas que se requieren en cojinetes de bombas.

Mecanizado del O.D. con tapón de acero o araña ajustable:



Una vez que se ha mecanizado el I.D. del tubo, un tapón de acero puede ser instalado en el I.D. del cojinete. En tubos más grandes un soporte interior ajustable (araña) con 3 o 4 brazos se puede instalar en el diámetro interior del tubo contra las mordazas del plato. Estos dos aparatos eliminarían la distorsión producida por la presión de las mordazas. Un soporte interior sencillo (araña) construido con 4 brazos se puede ver **abajo**. Con cualquier de estos métodos es necesario agregar unos 50 mm (2.0") extras a la longitud requerida del cojinete.

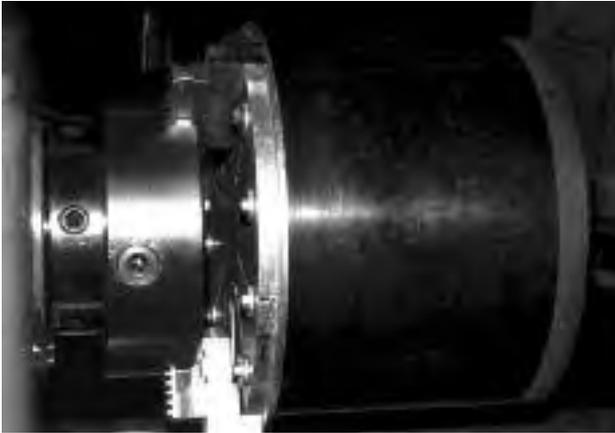
Araña Ajustable



INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

Mecanizado del O.D

Método preferible para el mecanizado del O.D. e I.D.



Los cojinetes mayores a 380mm (15.00") O.D. son los más fáciles de mecanizar cuando se puede atornillarlas en la superficie de un plato de sujeción. El plato se aprieta en las mordazas del torno. Hay que contar con unos 50mm (2.0") adicionales a la longitud nominal del cojinete para efectos de montaje en el torno. El plato debe centrarse lo mejor posible y luego ser atornillado en el tubo usando tornillos localizados en agujeros hechos en el tubo. Después de montarlo, el tubo debe estar bien centrado para su mecanizado, si fuese necesario soltando los tornillos de las ranuras del plato para un ajuste final del cojinete.

El O.D. del tubo se mecaniza en primera instancia con un acabado áspero, luego se mecaniza el I.D. a su dimensión final, para terminar con el acabado final del O.D. y finalizar cortando el cojinete a la longitud deseada.

Si el cojinete es demasiado largo para cogerlo con seguridad cuando se corta del tubo, debe seguirse el siguiente procedimiento. Corte el espesor del tubo a una dimensión aproximada del 80 al 90% total, desmonte el plato y el tubo del torno y continúe cortando el espesor del cojinete con una cuchilla para separarlo del tubo.

Si el cojinete se monta en un torno debe ser completamente mecanizado sin parar por largos períodos de tiempo. Esto evita que el cojinete se incline o se distorsione por su propio peso.

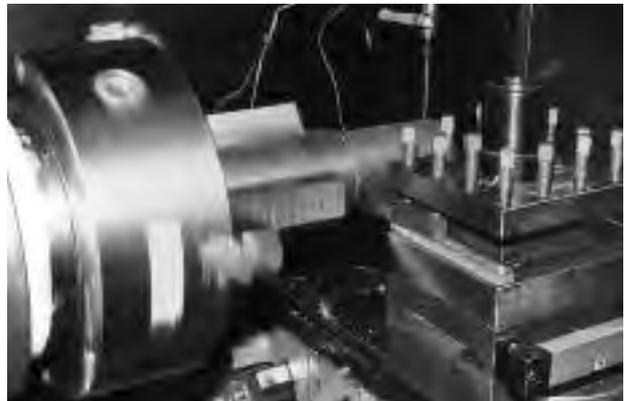
NOTA: Asegúrese que el tubo está debidamente sujeto en el plato antes de comenzar a girarlo. En caso contrario, el tubo se puede soltar y desprenderse causando un accidente al operario de la máquina.



iv) Tronzado a su Longitud:

Thordon puede ser cortado a la longitud deseada con una herramienta normal de tronzado, sin embargo, son de gran ayuda un radio adicional y holguras laterales adicionales para prevenir una generación de calor resultante del contacto del Thordon y los ángulos laterales de la herramienta de tronzar. Las partículas que se van mecanizando deben ser constantemente retiradas en el proceso de mecanizado con vistas a conseguir una superficie de corte uniforme.

NOTA: Debido a la naturaleza elástica del material Thordon hay que tener cuidado a la hora de retirar las rebabas de la zona de trabajo.



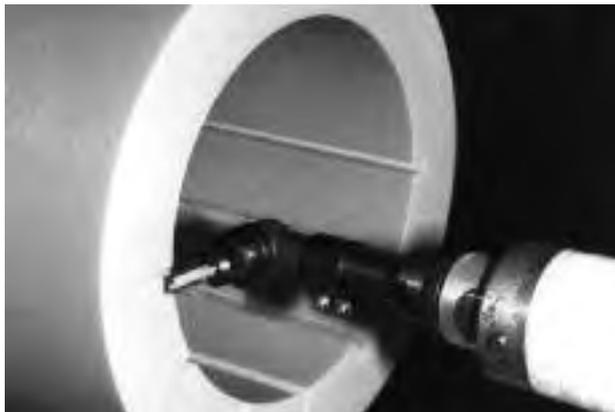
INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

v) Mecanizado de las Ranuras de Lubricación



Las ranuras para lubricación pueden ser mecanizadas manualmente o con un ranurador.

Para mecanizar las ranuras de lubricación manualmente, se monta una herramienta con forma en el torno y manualmente se empuja dentro del cojinete. Unos cuantos pases pueden ser necesarios para alcanzar la profundidad final de las ranuras.



Las ranuras pueden ser mecanizadas más fácilmente montando un ranurador en la torreta porta herramientas del torno y mecanizar la ranura de una sola pasada y con la profundidad correcta.



El diámetro exterior del plato de arrastre puede ser dividido y marcado actuando así como una guía para posicionar las ranuras en el cojinete.

NOTA: Las ranuras de lubricación deben ser mecanizadas antes de que se instale el cojinete en el alojamiento. El diámetro interior del cojinete se puede mecanizar después de montar el cojinete en el alojamiento pero no las ranuras de lubricación.

vi) Recomendaciones Generales para el Mecanizado

- 1 Para obtener los resultados óptimos en dimensiones y en acabados superficiales, el corte final de mecanizado debe ser de 1.5 mm (0.060") a 2.5 mm (0.100") y la herramienta de corte debe estar muy bien afilada.
- 2 El mecanizado se debe ejecutar en un ambiente con temperatura controlada y con un incremento de calor mínimo. Los cambios en temperatura pueden conducir a cambios de dimensión significantes.
- 3 Debido a la naturaleza elastomérica del Thordon, si se produce un error en el mecanizado del I.D. y si el espesor de pared es todavía adecuado, es posible recalcular el O.D. del cojinete y usarlo otra vez. Contacte a su distribuidor de Thordon para corregir el valor calculado del O.D.
4. Antes de hacer las últimas pasadas para el mecanizado final hay que comprobar que el cojinete no está caliente debido a las pasadas anteriores. Si la temperatura del cojinete es mayor que la temperatura ambiente del taller las dimensiones que se consigan en las pasadas finales no serán las correctas.

INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

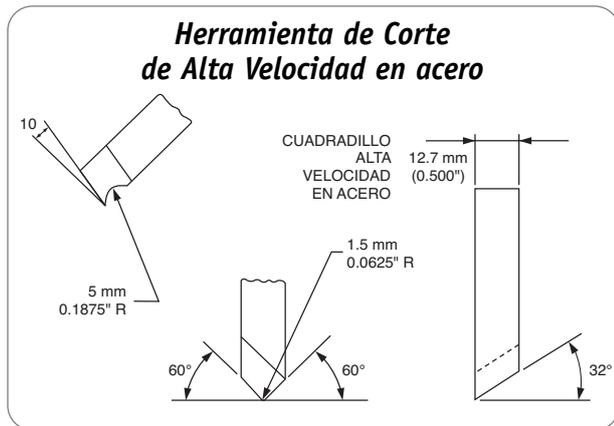
c) MECANIZADO DEL COMPOSITE

El mecanizado del Thordon Composite es diferente al mecanizado del Thordon XL, SXL o COMPAC porque el material negro (GM2401) es más suave. El O.D., o casquillo amarillo, se puede mecanizar usando las mismas técnicas ya mencionadas en la sección (b) Mecanizado del XL, SXL o COMPAC. El I.D., sin embargo, se mecaniza de forma diferente, siguiendo las recomendaciones siguientes.

i) Herramienta de Corte

Las nuevas herramientas de Kennametal o una herramienta equivalente de Nitruro de Titanio con cubrición de carburo descrito en la sección anterior de Mecanizado XL, SXL o COMPAC son las recomendadas para mecanizar los cojinetes Thordon Composite. Con estas herramientas el GM2401 en el I.D. del cojinete se puede mecanizar con un acabado superficial aceptable sin necesidad de usar una piedra de pulir.

Si se utiliza una herramienta de corte convencional de alta velocidad para mecanizar el interior del cojinete Composite, ésta debe tener la forma que se indica en la figura de abajo. Como para otros tipos de Thordon es esencial que la herramienta de corte esté bien afilada y se mantenga bien.



Cuando se usa una herramienta de corte convencional de alta velocidad para mecanizar el I.D. de un cojinete Thordon Composite se deben tener en cuenta algunos conceptos importantes. Debido a la naturaleza del GM2401, el revestimiento de las herramientas convencionales de corte se desgasta muy rápidamente. En el curso de una pasada de mecanizado del I.D. la herramienta de corte se desgastará lo suficiente para producir una conicidad a lo largo del I.D. del cojinete. Esta conicidad debe ser corregida con una segunda pasada, por lo que hay que asegurarse que las dos últimas pasadas estén en un rango de profundidad entre 2.0 a 3.0mm (0.080" a 0.120") para finalizar el I.D. del cojinete. La primera pasada se usa para medir la conicidad que aparece (una conicidad de 0.15mm (0.006") sobre la longitud de un tubo normal Thordon es habitual) y luego esta conicidad se ha de corregir en una segunda pasada.

NOTA: Es muy importante que la pasada final se haga con la misma profundidad, velocidad y relación de avance que las anteriores. De lo contrario el desgaste en la punta de herramienta que produce la conicidad cambiará y la corrección que se está haciendo en forma manual no será la correcta.

Al mecanizar el I.D. resultan rebabas en las ranuras de lubricación las cuales pueden ser quitadas usando una lija. La superficie final del cojinete será algo áspera pero el cojinete se amoldará rápidamente y trabajará bien.



Herramienta para quitar rebabas

ii) Velocidades de Corte y Avances en el Mecanizado

Las velocidades recomendadas de giro para cojinetes Composite de diferentes diámetros son las dadas en la tabla de abajo.

Diámetro del Cojinete		RPM	Avance con Herramienta de Acero de alta velocidad (0.020"/rev.)	Avance con Herramienta con punta (0.010"/rev.)
Métrico	Imperial			
150mm	6"	250	0.5mm/rev.	0.25mm/rev.
300mm	12"	100		
450mm	18"	75		
600mm	24"	60		
750mm	30"	50		
900mm	36"	40		

NOTA 1: Las velocidades de giro, de avance y de acabado se dan como guía de referencia solamente. La velocidad óptima puede variar a más o a menos dependiendo de variables como la longitud del tubo, el espesor de pared y como se agarra al cojinete. Como para cualquier operación de mecanizado, la experiencia ayuda a obtener resultados óptimos.

NOTA 2: Lubricantes de corte no son necesarios ni tampoco recomendados.

iii) Procedimiento de Mecanizado (O.D. hasta 250mm (10.0"))

El procedimiento para mecanizar los cojinetes Thordon Composite hasta 250mm (10.0") O.D. se puede resumir en los pasos siguientes.

- Escoja un cojinete sobredimensionado (I.D., O.D., Largo.) y córtelo a su longitud deseada, y refrente las dos caras.
- Monte el cojinete entre centros y mecanice el O.D con acabado áspero.
- Presione el cojinete (instalación con presión ligera) en un alojamiento soporte y termine de mecanizar el I.D.
- Presione ligeramente el cojinete en un mandril y mecanice el O.D. a sus dimensiones finales.

INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

iv) Procedimiento de Mecanizado (O.D. mayor que 250mm (10.0"))

Un cojinete Composite mayor de 250mm (10.0") se mecaniza mucho mejor montándolo en el plato de sujeción y mecanizando el I.D. y O.D., cortándolo con cierto sobrelargo y luego cepillándolo a su longitud.

NOTA: Asegúrese que el cojinete se sujeta muy bien sobre el plato antes de comenzar a girarlo. El no asegurar correctamente el cojinete en el plato, puede causar un accidente y provocar una desgracia personal.

d) MEDICIONES DE LAS DIMENSIONES Y EL ACABADO SUPERFICIAL

i) Mediciones Dimensionales



Micrómetro exterior

En la mayoría de los casos Thordon puede ser medido usando los mismos instrumentos y métodos para cualquier otro material. Se debe recordar que Thordon es un elastómero y se debe medir con cuidado ya que cualquier esfuerzo puede deformar el cojinete. Además, Thordon tiene un alto coeficiente de expansión térmica comparado con los metales y se debe medir a la temperatura del taller. Si esto no es posible entonces las dimensiones deben ser modificadas tomando en cuenta la expansión térmica, o contracción, ocurrida en el material, debido a la diferencia de las temperaturas entre el taller y el medio ambiente donde se está efectuando la medición. Las tablas de temperatura se pueden encontrar con el programa de cálculo Thordon.

En el caso de diámetros grandes, en los cojinetes con espesor de pared relativamente delgado y que han sido mecanizados y sacados del torno, es muy común encontrarlos en forma ovalada. Esta deformación puede ser el resultado de una deformación bajo el propio peso del cojinete o al ser atado en una plataforma de carga para su transporte. El cojinete puede dar la impresión de que está fuera de las tolerancias debido a su forma ovalada. Esto no es un problema ya que cuando el cojinete se instala a presión en el alojamiento se acomodará a la forma del alojamiento quedando en su forma redonda nuevamente. Para medir exactamente el cojinete fuera del alojamiento, use un zuncho de metal (pi tape) para medir el O.D. y luego mida el espesor de pared para obtener la dimensión correcta del I.D.



Zuncho de metal (pi tape)

El zuncho de metal flexible (pi tape) es un zuncho de acero de precisión calibrado para medir grandes diámetros mediante la medición de la circunferencia.

ii) Superficie de Acabado

Thordon, debido a su naturaleza elastomérica no metálica, no puede ser mecanizado con un grado de acabado superficial tan fino como los metales. Esto no es un problema porque el cojinete pasa por un período de ajuste en donde la aspereza inicial de la superficie se desgasta hasta quedar suave. Es importante, sin embargo, esforzarse para alcanzar un acabado superficial lo mejor posible para reducir la fricción y el desgaste. Los sistemas para obtener un buen acabado superficial han sido descritos en la sección de mecanizado pero es importante saber como medir el acabado superficial de un cojinete Thordon.

La calidad del acabado superficial del Thordon debe determinarse usando un comparador visual y no un dispositivo de punzón.



Comparador visual

INSTRUCCIONES DE MECANIZADO

iii) Tolerancias de Mecanizado y de Acabados Superficiales

Thordon es un material no metálico y consecuentemente no se puede mecanizar con tolerancias tan ajustadas como el bronce u otros materiales rígidos. Sin embargo, estas ajustadas tolerancias de los metales no son necesarios para un funcionamiento óptimo de Thordon. Las tolerancias normales para el mecanizado del Thordon son las siguientes:

Cojinetes hasta 330mm (13.00")

O.D. +0.13mm, -0.00mm (+0.005", -0.000")

I.D. +0.13mm, -0.00mm (+0.005", -0.000")

Cojinetes entre 330mm y 530mm (13.00" y 21.00")

O.D. +0.18mm, -0.00mm (+0.007", -0.000")

W.T. (grosor de pared)
+0.00mm, -0.13mm (+0.000", -0.005")

I.D. (Sólo Composite)
+0.18mm, -0.00mm (+0.007", -0.000")

Cojinetes de más de 530mm (21.00")

O.D. +0.25mm, -0.00mm (+0.010", -0.000")

W.T. (grosor de pared)
+0.00mm, -0.13mm (+0.000", -0.005")

I.D. (Sólo Composite)
+0.25mm, -0.00mm (+0.010", -0.000")

Tolerancia en la longitud del cojinete:

Para cojinetes con longitud menor a 500mm (20")
+0.00mm, -0.50mm (+0.000", -0.020")

Para cojinetes mayores a 500mm (20")
+0.00mm, -1.00mm(+0.000", -0.040")

NOTA 1: Para cojinetes Thordon XL, SXL y COMPAC por encima de 330mm (13"), la tolerancia del I.D. mecanizado se recomienda comprobar controlando el espesor de pared. Sólo para cojinetes Composite por encima de 330mm (13"), se debe controlar el I.D. real.

NOTA 2: Si el espesor de pared es inferior a 25mm (1") puede haber restricciones en la longitud del cojinete que puede ser mecanizado adecuadamente. Consulte a Thordon para más detalles.

NOTA 3: Si la aplicación requiere tolerancias más ajustadas que las que se indican en este manual, póngase en contacto con el distribuidor Thordon.

Las tolerancias en acabados superficiales son las siguientes:

XL, SXL, HPSXL, COMPAC: 3.2 micrómetros Ra
(125 micras de pulgada)Ra

Composite: 4.2 micrómetros Ra
(175 micras de pulgada)Ra

NOTA: Debido a las características únicas del Thordon, en comparación a los metales, se obtienen funcionamientos óptimos también con acabados superficiales relativamente altos (comparados a los metales).

APÉNDICE 1 - PEGADO CON TG-75

Adhesivo Thordon TG-75: Procedimiento adecuado para el mezclado, preparación y aplicación.

Antecedentes: El pegado del cojinete Thordon en su alojamiento es un montaje alternativo al montaje por interferencia. Los cojinetes se pegan cuando:

- a) El alojamiento no es redondo o es irregular
- b) Hay concavidades en el alojamiento que impiden un soporte adecuado al cojinete
- c) Cuando el espesor del cojinete no es suficiente para su montaje por interferencia
- d) Para controlar tolerancias y holguras de instalación (se reduce el espesor de pared).

El TG-75 es un adhesivo tenaz y altamente resistente. Es un epoxy de dos componentes altamente resistente desarrollado para pegar los materiales Thordon a metales.

La resistencia del pegamento TG-75 ya curado es altamente dependiente de varios factores:

- a) Preparación y limpieza de la superficie a la que se pega.
- b) El mezclado correcto de los dos componentes
- c) La temperatura y tiempo de curado.
- d) Procedimiento de aplicación.
- e) Instalación del cojinete dentro de su alojamiento una vez aplicado el pegamento.

Este documento describe los procedimientos a seguir para asegurar la mezcla correcta de los componentes de TG-75, una preparación adecuada tanto del Thordon como del metal base y los procedimientos de aplicación e instalación a seguir para obtener el pegamento más resistente posible.

Puede consultar **el video "Bonding Procedure"** para ver las instrucciones correctas a seguir.

Procedimiento ideal: El siguiente procedimiento debe ser seguido para conseguir el mejor pegado posible.

Preparación de superficie

El metal base y el material Thordon necesitan prepararse adecuadamente. Una mala preparación del metal base puede conducir a una pérdida de la calidad del pegado y a la posibilidad de que se suelte el cojinete de su alojamiento.

Preparación Metal

La superficie del metal se debe mecanizar con acabado superficiales no menores a 3.0 micrómetros (125 micro-pulgadas) de rugosidad Ra. Dicha superficie debe ser chorreada con arena para incrementar la adhesión. Para metales que presenten corrosión la superficie debe ser limpiada por chorreado para mantener una superficie con limpieza "Near White Blast" según Standard SSPC-SP No. 10/NACE No.2.

NOTA: El pegado debe hacerse dentro de dos horas después de la preparación de las superficies y de su limpieza. Para el aluminio y acero inoxidable reduzca ese tiempo a 30 minutos o menos ya que se puede producir una capa de oxidación muy rápidamente tras el chorreado.

La superficie a pegar debe limpiarse después del chorreado con un desengrasante orgánico como el "Methyl Ethyl Ketone" (MEK), alcohol isopropyl u otro desengrasante sin residuos antes de aplicarle el adhesivo TG-75. Espere que el desengrasante se evapore completamente sin dejar rastros antes de pegar. No toque las partes limpias – Si dichas piezas deben ser manipuladas utilice unos guantes de latex para proteger las partes limpias de contaminación por aceite de la piel.

Preparación de la superficie del Thordon

El cojinete Thordon debe mecanizarse antes del pegado. El acabado superficial del Thordon debe quedar entre 3.0 a 6.0 micrómetros (125 a 250 micro-pulgadas) Ra.

Se recomienda limpiar la superficie del cojinete con un trapo o un papel mojado con una pequeña cantidad de disolvente - asegúrese que luego no queden rastros del trapo o papel. Un cepillo limpio se puede usar también. Espere que se seque completamente antes de proceder al pegado. Es importante que el cojinete Thordon no quede impregnado de disolvente.

Mezcla de los componentes del adhesivo

El adhesivo TG-75 es de dos componentes que consisten en un acelerador denominado "TG-75A" y una resina "TG-75B". Estos dos componentes deben mezclarse utilizando las siguientes proporciones en volumen:

Parte A y Parte B = 1:2

Ratios de mezcla inadecuados pueden conducir a fallo del adhesivo a la hora del curado (si se usa poco acelerador el adhesivo no se endurece) o se cura demasiado rápido (si se usa demasiado acelerador) resultando tiempos de curado muy cortos.

La temperatura de los materiales en el momento del pegado es también muy importante. Para cartuchos que se han guardado a bajas temperaturas es necesario retornarlos a temperatura ambiente por lo menos durante una noche para que los materiales recuperen sus características antes de mezclar las partes A y B. Ver la sección de almacenado para más detalles.

Una vez mezclado, el adhesivo tiene un tiempo máximo de 60 minutos a 23° C (73°F) para ser utilizado. Tiene una viscosidad durante ese tiempo de 50,000 cps. Si se incrementa la temperatura, el tiempo de utilización se reduce.

El adhesivo TG-75 viene presentado en un equipo con dos cartuchos (1 parte A y 1 parte B). Una vez vacío, el equipo produce 450 ml (0.12 US gallons) de adhesivo mezclado. Típicamente, cada cartucho sirve para cubrir unos 7000 cm² (1085 in².) con un espesor de 0.25 mm (0.010 in.). El espesor de la película de adhesivo recomendado va de 0.25 mm a 0.38 mm (0.010 in. a 0.015 in.). Si se aplica un espesor superior al recomendado se reduce la resistencia del pegado. Consulte con su distribuidor de Thordon si hay que aplicar mayores espesores de adhesivo.

APÉNDICE 1

Preparación del pegamento según Procedimiento A – Pistola Neumática (suministro de Thordon Bearings)

1. *Retraete completamente los pistones manualmente:* La pistola neumática debe conectarse al tubo de aire y el vástago central debe ser empujado hacia atrás hasta que los pistones queden totalmente retraídos.
2. *Inserte el conjunto del cartucho:* Coloque la parte abierta del cartucho sobre las patas de los pistones. Cuidese de colocar correctamente los cartuchos en su sitio, centrados sobre las patas de los pistones. Si no lo hace bien el émbolo puede chasquear o salirse de su sitio conduciendo a una mezcla incorrecta y posible goteo. Coloque la parte delantera del cartucho en su posición en la parte delantera de la pistola. Empuje manualmente los pistones hacia adelante hasta que se ajusten contra el interior de los émbolos de los cartuchos Ver Figura 1.



Figura 1: Cartucho de TG75 insertado correctamente en pistola neumática

3. *Ajuste el cartucho:* Use una pistola neumática con una presión máxima de 0.70 MPa (100 psi). Gire el mando del regulador en dirección contraria a las agujas del reloj hasta el "stop". Quite los insertos en forma de "D" del cartucho (Ver fig. 2). Mantenga el cartucho sobre una superficie disponible. Accione sobre el gatillo de la pistola y lentamente abra (gire el mando del regulador en el sentido de las agujas del reloj) hasta que el componente sale por extrusión por los extremos del cartucho. Suelte el gatillo.
4. *Distribución del pegamento:* Abra el regulador de presión desde la posición de baja presión hasta que se consiga el caudal deseado. El contenido de ambos cilindros debe vaciarse sobre un recipiente y ser mezclado hasta que el color del adhesivo es completamente uniforme.



Figura 2: Tapas para cartucho de TG75

Preparación del pegamento según procedimiento B – Pistola Manual (Suministro de Thordon Bearings)

1. Suelte la leva y saque el conjunto del carro de los pistones. Ver fig. 3.



Figura 3: Leva de soltar – indicado con flecha

2. *Inserte el conjunto del cartucho:* Suelte los insertos en forma de "D" del cartucho y manténgalos en un sitio controlado para su reutilización. Coloque la parte abierta del cartucho sobre las patas de los pistones. Cuidese de colocar correctamente los cartuchos en sus sitios, centrados sobre las patas de los pistones (ver fig.4). Si los pistones no están centrados las piezas de inserción pueden chasquear o ser empujados descentrados originando un mezclado incorrecto incluyendo fugas. Ajuste bien el cartucho en la pistola. Empuje manualmente el pistón hacia delante hasta que se ajuste contra el interior del émbolo del cartucho.
3. Apriete el gatillo manipulando lentamente hasta que los componentes salgan por extrusión por las dos puntas de los cartuchos. Suelte el gatillo y afloje la leva.
4. El contenido de ambos cilindros debe vaciarse sobre un recipiente y ser mezclado hasta que el color del adhesivo es completamente uniforme.

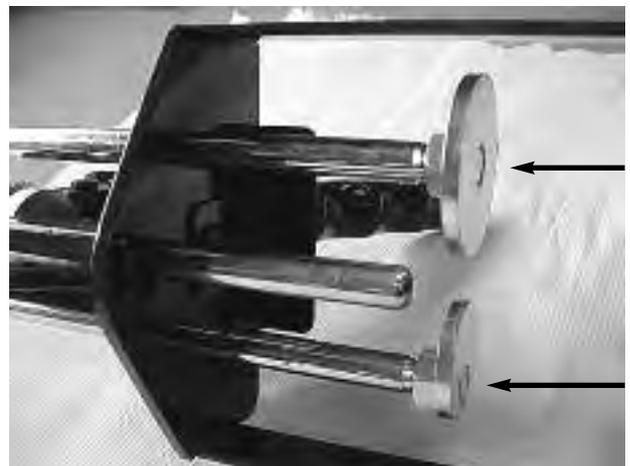


Figura 4: Pistones de pistola manual – indicado con flecha

Curado del Adhesivo

Una vez que el material ha sido mezclado correctamente el tiempo de curado del TG-75 depende de la temperatura durante el período de curado. Las temperaturas de curado para el TG-75 son:

- Típico: 20°C a 40°C (68°F a 104°F)
- Mínimo: 10°C (50°F)

Si hubiera que aplicar el TG-75 en rangos de temperatura diferentes a los anteriores contacte a Thordon para conocer los tiempos de curado.

Tiempos de curado y temperatura

Más del 60% de la resistencia del pegado se consigue en 8 horas a 23°C (73°F). Aproximadamente el 80% de la resistencia del pegado se consigue en 4 horas a 40°C (104°F). El curado total se consigue en 5 días a 23°C (73°F).

Un tiempo de curado insuficiente sobre todo a bajas temperaturas previamente a la inmersión en agua conducirá a valores de resistencia del pegado bajas. La inmersión en agua parará el proceso de curado.

Una vez aplicado el adhesivo debe mantenerse el cojinete y alojamiento juntos y a una temperatura constante mientras el proceso de curado se mantenga.

NOTA: Para cojinetes con diámetros exteriores (O.D.) mayores a 250 mm (9.8 in.) es importante que se mecanice el cojinete y que se proceda al pegado a la misma temperatura. Si se mecaniza el cojinete a una temperatura y se monta por pegado a una temperatura diferente, pueden ocurrir efectos negativos en el espesor óptimo del adhesivo- ver ejemplo siguiente.

Ejemplo: Efecto de la temperatura sobre el espesor del adhesivo

Un cojinete Thordon SXL se mecaniza a la tarde a 30°C (86°F) para ajustarse a un I.D. de alojamiento de 250 mm (9.843 in.). Basándonos en el espesor óptimo del adhesivo el diámetro exterior del cojinete O.D. se mecaniza 250 mm - 2 x 0.25 mm = 249.50 mm (9.843 in. - 2 x 0.010 in. = 9.823 in.).

El cojinete se va a montar el día siguiente. Ocurre que la temperatura del taller ha subido a 35°C (95°F). Utilizando el coeficiente de expansión térmica del SXL [21.1×10^{-5} cm/cm/°C (11.7 x 10⁻⁵ in./in./°F)] y la diferencia de temperatura de 5°C (9°F), el O.D. del cojinete a 35°C (95°F) ha subido a **249.76 mm (9.833 in.)**. **El espesor del adhesivo se ha reducido a 0.12 mm (0.005 in.) debido a la diferencia de temperatura. Este efecto térmico es todavía más peligroso con cojinetes mayores.**

Aplicación de adhesivo

Como se ha indicado anteriormente los mejores resultados se consiguen efectuando la instalación del pegado a la misma temperatura que se mecanizaron los cojinetes. En ambientes de temperaturas bajas es muy importante mantener la temperatura por encima de los 10°C (50°F) para un curado adecuado del adhesivo.

Cojinetes partidos y superficies lisas

1. Cubra con cinta las zonas cercanas a donde se aplica el pegamento y no interesa que acceda el mismo. Aplique el adhesivo en la superficie preparada para ello de la parte metálica y del O.D. del cojinete esparciéndolo con una espátula o una paleta con cortes. Ver Figuras 5 y 6.
2. Ponga el componente Thordon en su posición y átelolo con sargentas de fijación hasta que una pequeña cantidad de adhesivo fluya por las aristas de unión entre alojamiento y cojinete. Ver figura 7. No manipule ni mecanice la pieza pegada durante **un mínimo de 8 horas a 23°C (73°F)**. Evite quitar los tiznes sobrantes del adhesivo durante el montaje. Elimine el exceso de adhesivo una vez que el mismo ya se ha curado.



Figura 5: Pegamento aplicado a un alojamiento partido de metal



Figura 6: TG75 aplicado al diámetro exterior de un cojinete SXL partido



Figura 7: Utilizando sargentas para fijar SXL al alojamiento de metal con poca presión

Cojinetes cilíndricos

1. El cojinete debe ser mecanizado pensando que hay que dejar entre 0.25 mm a 0.38 mm (0.010 in. a 0.015 in.) para la capa de adhesivo. Esto significa entre 0.50 mm a 0.76 mm (0.020" a 0.030") **en el diámetro exterior**. El adhesivo TG-75 puede utilizarse para espesores de pegado de hasta 3.0 mm (0.125") pero el esfuerzo cortante del adhesivo se reduce considerablemente para espesores superiores a 0.6 mm (0.025").
2. Aplique el adhesivo en la superficie preparada para ello de la parte metálica y del O.D. del cojinete esparciéndolo con una espátula o una paleta con cortes.
3. Deslice el cojinete en el alojamiento. Una ligera rotación del cojinete puede ayudar a homogenizar la capa de adhesivo pero no abuse de movimientos hacia delante o hacia atrás porque podría inducir a la generación de burbujas de aire en la capa.
4. Se pueden utilizar espaciadores en situaciones donde el cojinete no se puede mantener concéntrico con el alojamiento y no hay más remedio que ir a espesores de adhesivo no uniformes. Se pueden utilizar pletinas de cristal, pletinas metálicas o varillas para asegurar un espesor regular a lo largo de toda la circunferencia. Ver figura 8.



Figura 8: Varillas utilizadas para asegurar que el cojinete queda concéntrico en su alojamiento.

Nota: Dibujo no a la escala correcta.

Análisis de posibles problemas y soluciones

1. Si los componentes se salen de las conexiones mecánicas y fugan por la parte posterior de los cartuchos compruebe que las conexiones mecánicas del cartucho con la pistola están bien ajustadas.
2. Si los componentes fugan alrededor de la tuerca asegúrese que dicha tuerca no está pasada de rosca y apriétela más.
3. El componente formado tiene que ser consistente en color.

Limpieza

Quite el exceso de adhesivo con una paleta, después limpie la superficie con un trapo seco quitando con mucho cuidado el adhesivo sobrante de las aristas.

Almacenamiento del TG-75 & Vida útil

Los cartuchos de TG-75 se pueden almacenar a la temperatura ambiente aproximadamente 20°C (68°F), con una vida útil de 15 meses desde la fecha de almacenamiento. Para aumentar la vida útil del material los cartuchos se pueden almacenar en un frigorífico o un congelador. Las bajas temperaturas incrementan la vida útil de los componentes no mezclados hasta 30 meses desde la fecha de almacenamiento.

El almacenaje a temperaturas más bajas de -10°C a -20°C (14°F a -4°F) puede producir la cristalización o solidificación del adhesivo dando al producto la apariencia de un líquido brumoso o un semisólido de cera. La cristalización no es indicativa de ningún problema del material y no afecta al comportamiento del mismo. **De todas formas la cristalización debe ser invertida y eliminada antes de usar los componentes por que las partes A y B no van a poder ser mezcladas.**

El fenómeno de la cristalización es reversible volviendo a poner los materiales a la temperatura ambiente. Si el tiempo lo permite deje que el material se caliente por medios naturales durante una noche. Un calentamiento suave (sin calor directo o sin llama) del cartucho y su contenido es aceptable. Suba la temperatura del cartucho a 50°C (120°F) aproximadamente durante 30 minutos. Vuelva a enfriar hasta la temperatura ambiente antes de usarlos.

NOTAS:

- El TG-75 no contiene ningún disolvente reactivo volátil y fotoquímico.
- Fabricado libre de CFC
- Esta disponible bajo solicitud la MSDS.

GARANTÍA LIMITADA Y LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES DE THORDON BEARINGS INC (TBI)

(a) **Condiciones Básicas:** Thordon Bearings Inc. ("la Compañía") provee una Garantía Limitada sobre los productos vendidos al comprador original, en la medida en que tales productos son de su propia fabricación, en contra de defectos de materiales y diseño "Garantía Limitada".

(b) **Cobertura:** Esta Garantía Limitada cubre la reparación o sustitución del material o la devolución del precio de adquisición, pudiendo TBI elegir, de cualquier producto defectuoso respecto al cual, y una vez descubierto el defecto, el comprador ha dado aviso por escrito inmediatamente. La Compañía no garantiza la mercantilidad de sus productos ni garantiza, expresa o implícitamente otra garantía que la expresada aquí.

(c) **Productos Fabricados por Terceros:** Para accesorios, equipamientos y componentes no fabricados por TBI, son garantizados solamente hasta el punto y en la manera garantizada por el fabricante de dichos productos esforzándose la Compañía en que el fabricante extienda al máximo su garantía.

(d) La Responsabilidad Limitada de TBI ante reclamaciones por daños y perjuicios surgidos con relación al funcionamiento o mala utilización derivada de la venta, distribución, reventa, reparación o el uso de cualesquiera bienes no excederá el precio de compra de tales bienes. La compensación al comprador será un reembolso del precio de compra, o, a la elección de la Compañía, la sustitución o reparación de los bienes. Esta será la reclamación exclusiva del comprador en contra de TBI. En ningún caso será TBI responsable por daños incidentales, especiales, o consecuenciales, incluyendo pero no limitando a las pérdidas de beneficios, negocios, como consecuencia de tiempos muertos de máquina, destrucción o pérdida de cualesquiera bienes capitales, responsabilidad por accidente personal, muerte, o cualquier otro tipo de daños similares o diferentes a los de esta lista.

(e) **Defectos Latentes:** En los casos de defectos de materiales o de mano de obra o defectos que se derivan de la selección de material o de los procesos de fabricación, dichos defectos deben ser visibles dentro de los 3 meses desde la entrega y aceptación de los productos al comprador.

(f) **Exclusiones:** TBI estará liberado de cualquier responsabilidad según esta Garantía Limitada sí:

1. Si los productos se operan con algún accesorio, equipamiento o componente no específicamente aprobado por TBI o según especificaciones o diseños no aprobados por TBI salvo que el comprador suministre suficiente evidencia que dicha instalación no aprobada por TBI no fué la causa del defecto.
 2. Los productos suministrados por TBI o no están operando, o no se mantienen, de acuerdo con las instrucciones de funcionalidad y mantenimiento escritas en TBI salvo que el comprador suministre suficiente evidencia de que la causa del defecto no ha estado en el método de funcionamiento o mantenimiento.
 3. Los productos no han sido utilizados o mantenidos bajo normas de uso común en la industria salvo que el comprador suministre suficiente evidencia de que la causa del defecto no ha estado en el método de funcionamiento o mantenimiento.
 4. Los productos han sido reparados, cambiados o modificados sin la aprobación escrita de TBI o si los productos siguen operando después de haber sufrido un accidente o una avería repentina salvo que el comprador suministre suficiente evidencia de que la causa del defecto no ha estado relacionado con estos puntos. Esto no se aplicará para reparaciones rutinarias sustituciones mínimas accidentes o averías repentinas mínimas que ocurren en el funcionamiento normal de una máquina y siempre que dichas reparaciones, sustituciones etc. se hagan con materiales adecuados y procedimientos industriales y métodos de ingeniería estándar.
 5. El comprador no suministra pruebas razonables de que el defecto se debe a un material suministrado por TBI y que está regido por esta Garantía Limitada.
- (g) **Plazo de Garantía:** La Garantía Limitada expresada en los términos y condiciones antes apuntadas estará vigente para los 12 meses posteriores a la entrega y aceptación de los productos por parte del comprador siguiendo este contrato.
- (h) **Expiración y Liberación de la Garantía:** Una vez cumplido el plazo de la Garantía Limitada TBI queda liberada de cualquier obligación o responsabilidad referente a la garantía dada por TBI y contenida en este contrato o en cualquier otro documento que contemple una transacción entre las dos partes.

MÁXIMO SERVICIO TÉCNICO PARA APOYAR SUS NECESIDADES INMEDIATAS Y DE FUTURO

SERVICIO Y DISPONIBILIDAD: Thordon Bearings entiende la importancia de reducir el tiempo de parada de los equipos debido a problemas, por lo cual se compromete a ofrecer soluciones inmediatas a las necesidades urgentes del cliente, ofreciendo material de reposición inmediatamente. Los cojinetes Thordon para aplicaciones marinas e industriales se pueden diseñar y fabricar a las medidas finales ya mecanizadas para suministro urgente.

DISTRIBUCIÓN: Thordon Bearings tiene una red de distribución establecida a nivel mundial con representantes en más de 70 países. Un amplio stock de cojinetes con las medidas más estándares se mantiene en la mayoría de los distribuidores Thordon a nivel mundial. Por otra parte, Thordon mantiene un stock muy grande en sus instalaciones de Canadá.

INGENIERÍA Y SOPORTE TÉCNICO: Los ingenieros de Thordon Bearings trabajan en cooperación con nuestras clientes para proporcionar un alto nivel de soporte técnico y alcanzar diseños innovados para sistemas de cojinete que se adaptan a requisitos técnicos y prácticos de cada aplicación.

FABRICACIÓN DE PRODUCTOS: Todo el material Thordon se fabrica exclusivamente en su planta moderna de proceso de polímeros de Canadá. En esta planta se emplea sólo personal experimentado y dedicado a mantener un nivel alto de calidad. Se pueden producir cojinetes con diámetros hasta 2.2 metros (86 pulgadas). Thordon puede mecanizar en su planta de Canadá cojinetes de hasta 1.5 m de diámetro exterior.



CALIDAD: Thordon Bearings Inc. es una compañía canadiense que fabrica sus cojinetes bajo los requisitos del Programa de Sistema de Calidad ISO 9001:2000. Con más de 35 años de experiencia en diseño, ingeniería y producción de cojinetes para aplicaciones industriales y marinos, Thordon Bearings es reconocido a nivel mundial como un proveedor de cojinetes de alta calidad y funcionamiento.

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO: Los cojinetes Thordon son constantemente evaluados por el Departamento de Investigaciones y Desarrollo. Su laboratorio de pruebas mecánicas evalúa nuevos diseños y aplicaciones antes de que sean puestas en servicio. Las pruebas continuas ayudan a mejorar los diseños existentes y a confirmar la calidad y funcionamiento de los sistemas de cojinetes después de que sean instalados. El laboratorio de pruebas poliméricas evalúa la posibilidad de producir nuevos polímeros o de modificar los existentes para mejorar en forma continua el funcionamiento de los cojinetes Thordon o introducir nuevos materiales en la línea de productos Thordon.

Su distribuidor local Thordon

THORDON
BEARINGS INC. A MEMBER OF THE THOMSON-GORDON GROUP

3225 Mainway, Burlington, Ontario L7M 1A6 Canada

Tel: (905) 335-1440 Fax: (905) 335-4033

E-mail info@thordonbearings.com

www.thordonbearings.com



SE2008.1A4 08/08 1000 BC
IMPRIMIDO EN CANADÁ



ISO 9001:2000
CGSB
Registration #93649