

ÍNDICE

1. DEFINICIÓN DE THORDON	2
2. TRIBOLOGÍA	
a) Fricción	3
b) Lubricación	3
c) Desgaste	5
3. PROPIEDADES FÍSICAS	
a) Efectos térmicos	7
b) Efectos del agua	9
c) Factor de forma	10
d) Esfuerzo y deformación	10
e) Rigidez	11
f) Compresión remanente - Deslizamiento - Esfuerzo de relajación	12
g) Impacto / Elasticidad	12
h) Histéresis	13
i) Resistencia química	13
j) Cuadro de comparación de propiedades físicas	14
4. GUÍA DE DISEÑO	
a) Análisis de aplicación	15
b) Presión del cojinete	15
c) Velocidad	16
d) Gráficos de P.V.T.	16
e) Índice de L/D	20
f) Espesor de pared	20
g) Superficie de acoplamiento	22
h) Ajuste	23
i) Tolerancia de maquinado	24
j) Proceso de selección	25
k) Problemas y causas de las fallas	26
5. DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN	
a) Diseño según la aplicación	27
b) Interferencia	28
c) Cierre del calibre	33
d) Juego de trabajo	36
e) Huelgo por expansión térmica	39
f) Huelgo por absorción de agua	39
g) Cálculos paso a paso	40
h) Ejemplos de cálculo	40
i) Cálculos de cojinetes con chaveta	42
j) Cálculos por computadora	42
k) Cojinetes de alta presión	43
6. INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO	
a) Maquinado en general	45
b) Maquinado del XL y del SXL	46
c) Medidas de las dimensiones y del acabado	50
d) Maquinado del Composite	51

DEFINICIÓN

Los cojinetes Thordon de material elastómero se fabrican con resinas termoestables que son polímeros de condensación tridimensionales, de enlace transversal. Thordon es una aleación de polímeros sintéticos muy dura y resistente que ofrece características de desempeño superiores a las de otros materiales usados para cojinetes, como el bronce, metal antifricción (babbitt), nylon, T.F.E., fenólicos laminados (baquelita), lignum vitae (guayacán), acetilo, carbono, poliamidas y polietileno, de peso molecular extremadamente alto. Thordon se desempeña particularmente mejor en comparación con otros materiales, en aplicaciones en donde el material esta expuesto al agua o sumergido en ella, en condiciones extremadamente sucias, y en donde la carga por impacto es un factor importante por las siguientes razones. Primero, Thordon es un elastómero y recupera su forma original después de haberse estirado o deformado. Segundo, por las características básicas del material, Thordon tiene una alta resistencia natural a la abrasión. Estas dos características resultan en un desempeño excepcional y en una larga duración, en diferentes condiciones ambientales difíciles y sucias, tanto en aplicaciones marítimas como industriales.

Thordon es un producto desarrollado y fabricado por Thordon Bearings Inc. en Burlington, Ontario. fue introducido en el mercado canadiense en 1966 y, en la actualidad, se vende a través de distribuidores con stock disponible, en Canadá, los Estados Unidos, y en más de 50 país en todo el mundo.

Este Manual de Ingeniería se ha preparado en base a los muchos años de experiencia en la fabricación e instalación de los cojinetes Thordon a nivel internacional.

Esta información se ofrece como parte de nuestro servicio de atención al cliente, con la intención de que sea usada por personas con capacitación y conocimiento técnico, a su juicio y discreción.

La compañía se reserva el derecho de cambiar o de modificar cualquier especificación sin previo aviso. La responsabilidad única y exclusiva de Thordon Bearings Inc. antes un cliente o distribuidor de los productos de la compañía, con respecto a cualquier reclamo, daño, pérdida o responsabilidad que pueda surgir como resultado de los productos suministrados por la compañía, o en relación a los mismos, y la garantía única y exclusiva de la compañía, será conforme con la Garantía Limitada de la Compañía y las declaraciones que limitan su responsabilidad, según se indica en la página 53 de este folleto. La compañía no se hará responsable, bajo ninguna circunstancia, de ningún daño especial, indirecto o consecuencial.

TRIBOLOGÍA

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

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

a) FRICCIÓN

La fricción generalmente se define como una fuerza que resiste el movimiento de un objeto en movimiento. Con Thordon, la fricción adopta la forma de un eje que aplica una carga sobre un cojinete. Cuando el eje gira, la fricción entre el eje y el cojinete resiste el movimiento y, como resultado, se necesita cierta cantidad de potencia para mantenerlo girando. Esta potencia no realiza ningún trabajo útil y se transforma en calor. La magnitud de la fuerza de fricción $F(f)$ depende de un valor conocido como coeficiente de fricción (μ) y la carga "normal" aplicada (N). La relación es la siguiente:

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

Así, si se duplica la carga sobre el eje (doble de N), la fuerza de fricción se duplicará, junto con el calor generado por fricción. Si no se puede disipar el calor hacia un disipador grande o a un lubricante, la temperatura de la superficie del cojinete se elevará.

b) LUBRICACIÓN

i) Lubricación húmeda

La fricción es casi siempre indeseable (excepto en aplicaciones como frenos, embragues y neumáticos) y, a menudo, conduce a problemas de sobrecalentamiento, gran desgaste y alto costo de operación. La lubricación se emplea para reducir la fricción.

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/o el desgaste, y segundo con el fin de disipar el calor generado. Cuando la fricción se lubrica en "húmedo", comienza a depender en gran medida de la velocidad, según lo demuestran los dos ejemplos en la Figura 1.

A baja velocidad, la fricción es alta porque existe un contacto directo o sólido entre el eje y el cojinete. Las áreas en las que existe una combinación de contacto sólido y una película de lubricación se conocen como "lubricación límite".

A velocidades intermedias, el eje comienza a moverse sobre una película delgada de líquido reduciendo el contacto sólido y, por lo tanto, la fricción.

A medida que aumenta la velocidad, el eje queda completamente separado de la superficie del cojinete mediante una película de lubricación hidrodinámica que reducirá el desgaste, siempre que el líquido sea limpio y se haya filtrado. Sin embargo, la fricción comenzará a aumentar lentamente a medida que aumente la velocidad, debido al efecto cortante de la película lubricante.

TRIBOLOGÍA

La figura 1 ilustra los resultados de las pruebas con agua así como las pruebas con el aceite Tellus 100. Estos resultados se pueden duplicar con casi cualquier otro líquido.

El cojinete lubricado con aceite comenzó con un nivel de fricción mucho menor, el cual se redujo muy rápidamente a su nivel de fricción más bajo antes de volver a ascender lentamente.

La fuerza de fricción en la lubricación con agua comienza a un nivel más alto debido a la poca lubricidad del agua y requiere una mayor velocidad de 1.6 - 2.1 m/segundo (315 - 420 pies/minuto) para lograr un funcionamiento hidrodinámico. Esto se debe a la baja viscosidad del agua.

Es interesante observar que en el rango de alta velocidad, la fuerza de fricción en la lubricación por agua es efectivamente menor que con el aceite. Una vez que se obtiene el funcionamiento hidrodinámico, la fricción aumenta con el aumento de la viscosidad, y la viscosidad del aceite es mucho mayor que la del agua.

La lubricación húmeda también ofrece un beneficio adicional ya que puede acarrear el calor generado por la fricción, que es el enemigo de todos los cojinetes. Esto es especialmente efectivo con Thordon ya que la baja conductividad térmica del material no permite mucha disipación del calor a través de la pared del cojinete. La lubricación húmeda se puede lograr mediante varios métodos que difieren en su complejidad y su desempeño. Hay sistemas de alimentación por goteo, que son adecuados para velocidades lentas a intermedias en las que la acumulación de calor no es un problema; sistemas de inmersión, en donde el cojinete se sumerge en forma parcial o total en un lubricante, para situaciones a velocidades más altas. Un tercer método es el sistema de lubricación por recirculación forzada, que es el más eficaz en la disipación del calor.

NOTA: REQUERIMIENTOS PARA EL FLUJO DE AGUA:

Es posible que el cojinete Thordon utilizado en una aplicación de rotación total requiera un flujo de agua para su lubricación y enfriamiento. De ser así, el caudal mínimo que se recomienda es de 1 galón U.S. por minuto por pulgada de diámetro, o 0.15 litros por minutos por milímetro de diámetro del eje.

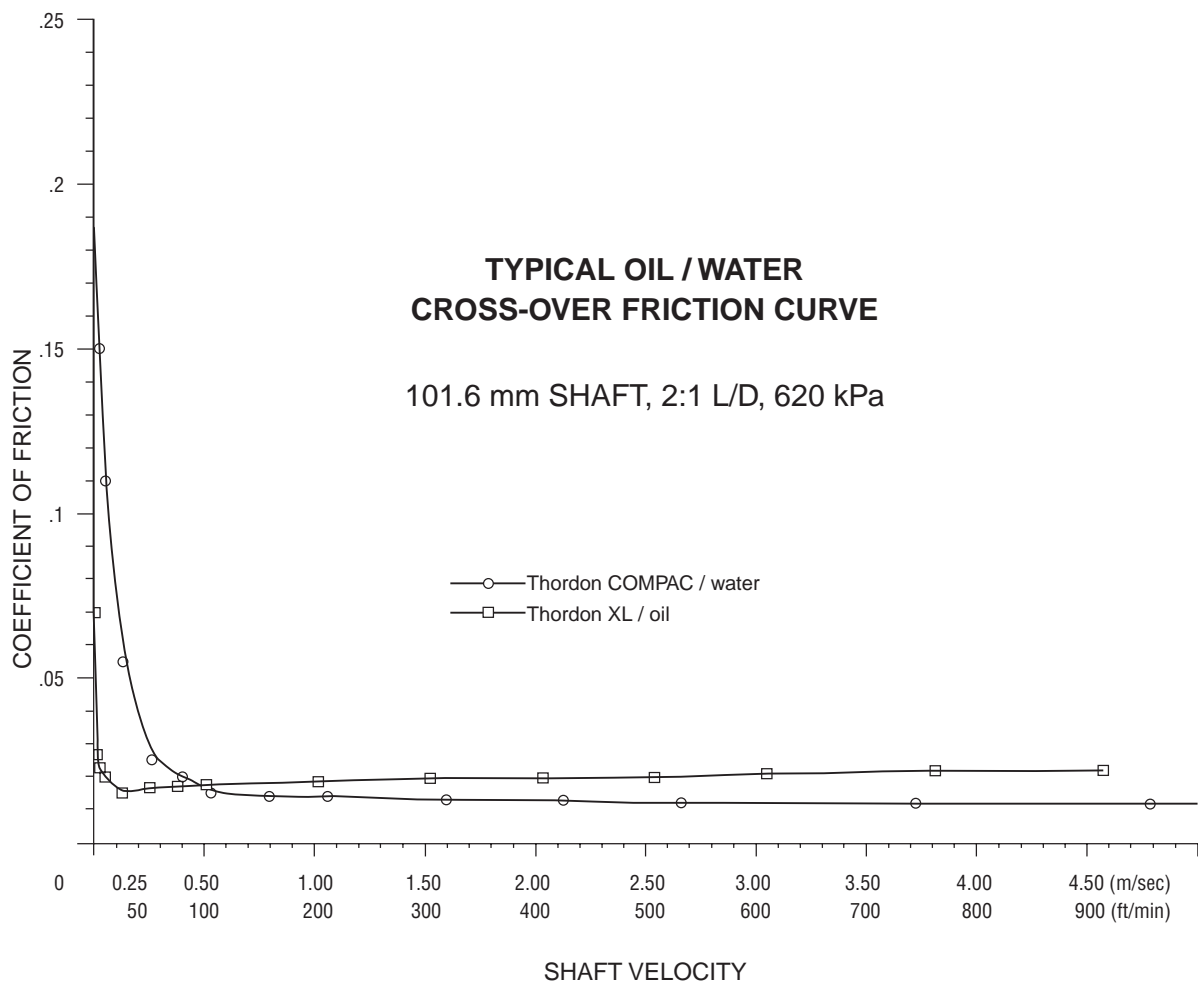


FIG. 1

ii) Grasa

La grasa es una forma de lubricación húmeda que disminuye la fricción y permite la formación de una película lubricante. La grasa no es capaz de disipar el calor. Se aplica grasa fresca periódicamente para lubricar el cojinete y eliminar la grasa usada y la suciedad. Es necesario realizar una lubricación periódica para evitar un funcionamiento en seco.

iii) Sin lubricación

Thordon puede ser especificado como un cojinete sin lubricación para aplicaciones de velocidad relativamente baja en donde no es posible realizar una lubricación regular o en donde la lubricación con grasa puede atraer sustancias abrasivas. El Thordon SXL ofrece las mejores propiedades para una operación en seco debido al alto contenido de lubricante en su fórmula. El cojinete libera los lubricantes incorporados cuando se le aplica presión reduciendo la fricción y la generación de calor.

Consulte la Sección de Guía de Diseño que ilustra las diferentes curvas de PVT (presión, velocidad y tiempo) para escoger el método adecuado de lubricación.

c) DESGASTE

Desgaste es la eliminación destructora del material como resultado del contacto de superficies en movimiento. El desgaste puede adoptar formas diferentes y es difícil de predecir debido a la complejidad de su proceso.

i) Desgaste de adherencia

El desgaste de adherencia ocurre cuando los picos de dos superficies ásperas entran en contacto y se sueldan o se adhieren, sacando una partícula de desgaste. El desgaste de adherencia de Thordon es mínimo a temperaturas y presiones normales, pero se convierte en el modo dominante de desgaste a temperaturas muy altas cuando la superficie comienza a fundirse. Es importante mencionar que la fricción no es un componente del desgaste de adherencia. Erróneamente, se cree que el desgaste aumenta cuando la fricción aumenta y, aunque esto puede ocurrir, no siempre es el caso.

En los metales, este tipo de desgaste se conoce como "rayas" si no es muy grave, y como "raspaduras", "estrías" o "soldaduras" si es grave.

ii) Desgaste por abrasión

El desgaste por abrasión es el desgaste de una superficie blanda por parte de una superficie dura. Algunos de los ejemplos son el papel de lija y la muela rectificadora (abrasión de dos cuerpos), o las partículas de arena entre un cojinete y un eje (abrasión de tres cuerpos).

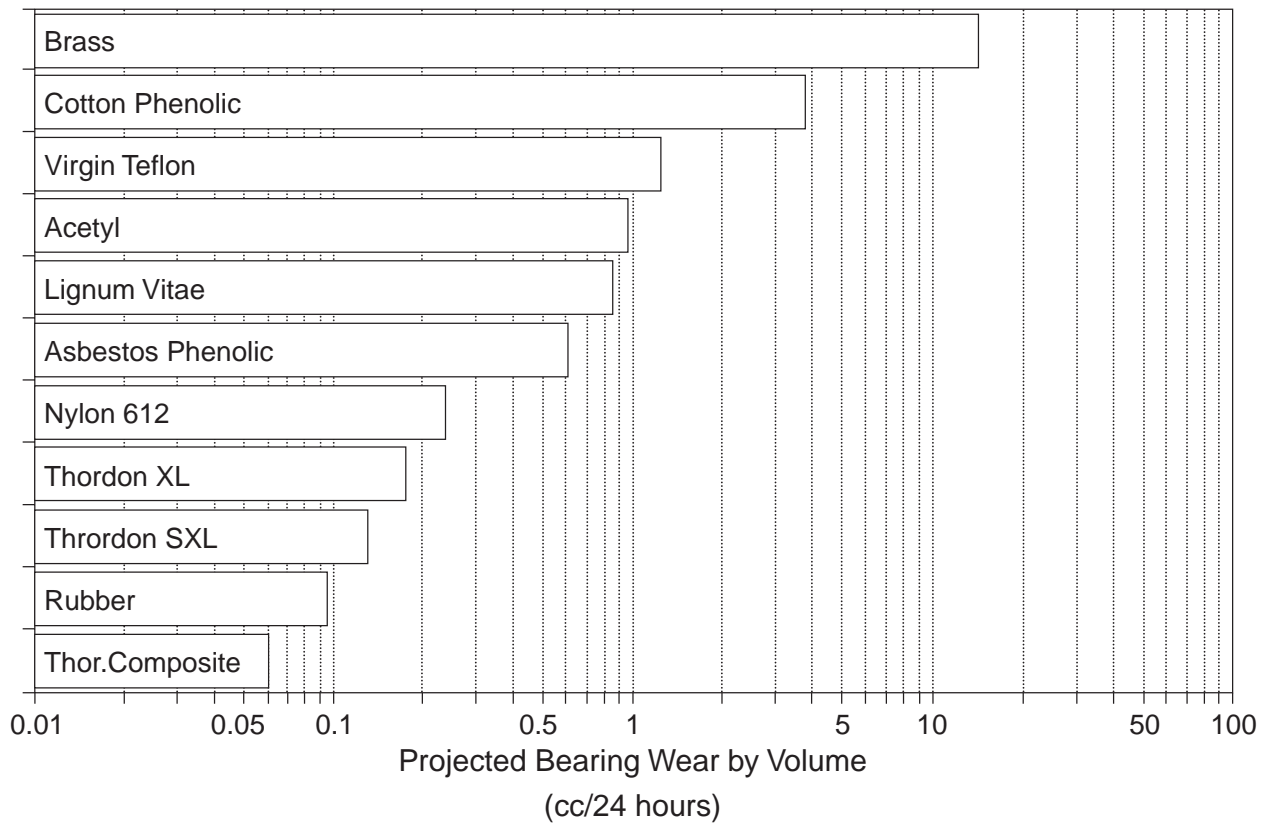
El mejor método para minimizar el desgaste por abrasión es el de tener una superficie muy dura y otra relativamente blanda y dócil. Esto permite que las partículas abrasivas rueden o se deslicen sobre la superficie blanda y a través del sector de contacto provocando muy poco daño al eje o al cojinete. Las pruebas han demostrado que se obtiene una vida útil óptima de un cojinete lubricado con agua en un ambiente abrasivo con un eje muy duro y un cojinete Thordon Composite.

Otros tipos de desgaste por abrasión que ocurren comúnmente en cojinetes incluyen la abrasión por impacto y la abrasión por fangos de lavado. La abrasión por impacto ocurre en aplicaciones de revestimientos de canaletas y vertederos y la abrasión por fangos de lavado ocurre en bombas que bombean fango.

iii) Comparación del desgaste

El laboratorio de pruebas de Thordon Bearings Inc ha realizado pruebas exhaustivas de desgaste en cojinetes Thordon y cojinetes de otros materiales. Se realizaron pruebas para comparar todos los materiales de cojinetes en una máquina especialmente diseñada que usa un fango abrasivo en circulación. (Consulte la Nota 1, Figura 2). Los resultados de las comparaciones aparecen en la Figura 2.

ABRASIVE WEAR COMPARISON TEST



NOTE:
1) ABRASIVE TEST CONDITIONS

- Test Bearing — 1.0" I.D. x 1/5" O.D. x 1.5" long
- Shaft Diameter — 1/0" O.D. mild steel
- Abrasive — 6% sand; 6% clay
 2% bentonite; 86% water
- Flow — Approximately 1/2 gpm
- Conditions — 200 fpm @ 100 psi for 48 hrs.
 — 1.0 m/sec. @ 0.7 MPa for 48 hrs.

FIG. 2

3. PROPIEDADES FÍSICAS

PROPIEDADES FÍSICAS

- a) Efectos térmicos
- b) Efectos del agua
- c) Factor de forma
- d) Esfuerzo y deformación
- e) Rigidez
- f) Compresión remanente - Deslizamiento - Esfuerzo de relajación
- g) Impacto / Elasticidad
- h) Histéresis
- i) Resistencia química
- j) Cuadro de comparación de propiedades físicas

a) EFECTOS TÉRMICOS

i) Límites de temperatura

Todos los cojinetes están sometidos a los efectos de la temperatura ambiente más el calor por rozamiento generado durante el funcionamiento. El cojinete Thordon, al igual que todos los otros cojinetes no metálicos, tiene una baja conductividad térmica en comparación con el metal, y esto se debe tener en cuenta para limitar la acumulación de calor por rozamiento.

El límite superior de temperatura para un Thordon en un ambiente seco, es de 105° C (225° F). Las razones técnicas de este límite se explican con mayor detalle en la sección sobre Esfuerzo de Relajación en la página 12. La superficie se ablanda a temperaturas superiores a los 105° C (225° F). A medida que la superficie se ablanda, aumenta el coeficiente de fricción con el consiguiente aumento de calor. La temperatura aumenta aún más y el proceso continúa hasta que el cojinete falla.

El límite operacional inferior del Thordon es de - 60° C (-80° F). Sin embargo, es posible usar nitrógeno líquido a temperaturas de - 195° C (- 320° F) en ajustes en caliente, sin que el Thordon se vuelva demasiado frágil para ser ajustado.

El límite superior de temperatura para el Thordon en un ambiente húmedo es de 60° C (140° F) debido a la Hidrólisis. La hidrólisis se explica más detalladamente en la sección dedicada a los Efectos del Agua, en la página 9.

ii) Coeficiente de expansión / contracción

El coeficiente de expansión/contracción térmica para el Thordon no es lineal como para otros productos no metálicos, y varía a través del rango de temperatura. Las Figuras 3 y 4 ilustran resultados típicos de los materiales Thordon que exhiben un coeficiente más bajo de contracción que de expansión.

PROPIEDADES FÍSICAS

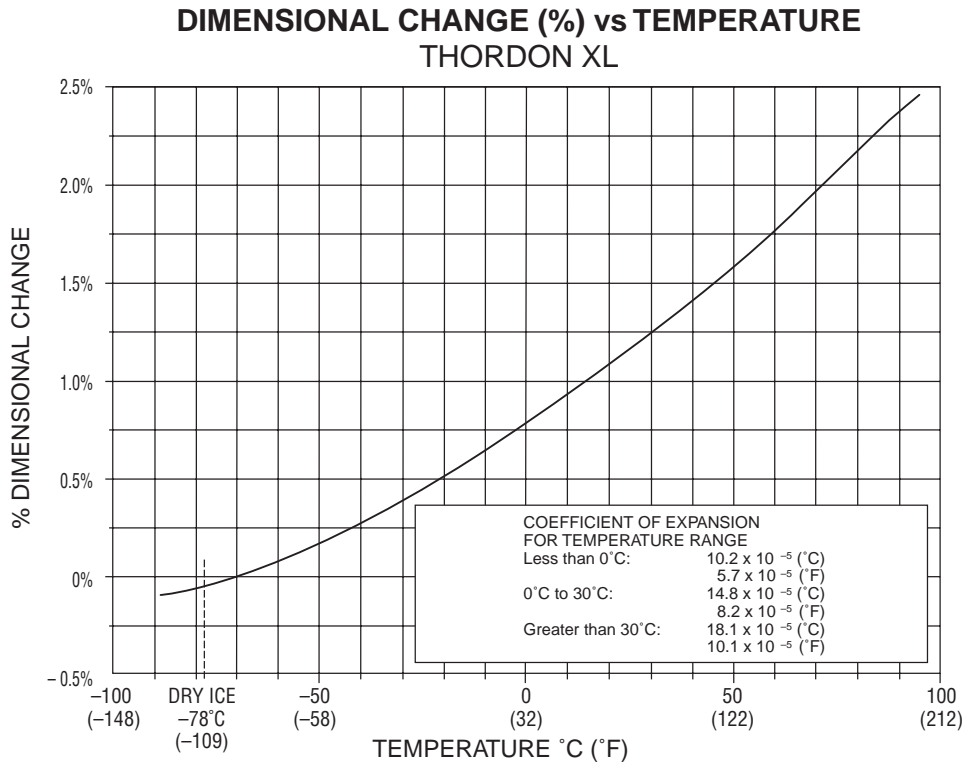


FIG.3

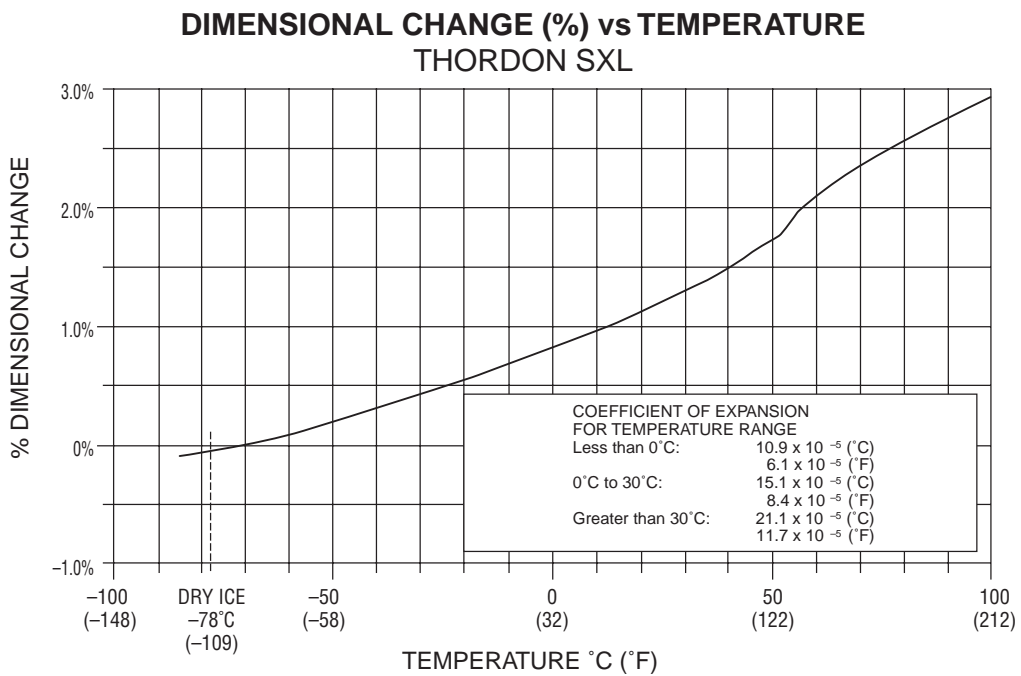


FIG.4

NOTE: Units for Coefficient of Thermal Expansion/Contraction are:
Metric: (cm/cm/°C x 10⁵)
Imperial: (in/in/°F x 10⁵)

b) EFECTOS DEL AGUA

i) Absorción del agua

Thordon se expande aproximadamente 1.3% por volumen, bajo condiciones atmosféricas y a una temperatura de 21° C (70° F) debido al carácter isotrópico de la estructura polimérica.

Si aumenta la presión o la temperatura, no solamente aumenta el porcentaje de absorción volumétrica, sino que también aumenta la tasa de absorción. En pruebas usando agua a 60° C (140° F), la absorción volumétrica aumentó un 2.0% en 100 horas.

Se realizaron ciertas pruebas para poder determinar los efectos de la absorción del agua en el Thordon con respecto a un cojinete ajustado a presión en un alojamiento. Estas pruebas mostraron los efectos promedio aproximados de la absorción del agua tanto sobre el cierre del calibre como la longitud axial a 21° C (70° F). El efecto promedio sobre el cierre del calibre es 0.011 veces el espesor de la pared. El efecto promedio sobre el aumento axial es 0.005 veces la longitud del cojinete.

ii) Hidrólisis

Cuando se somete el Thordon a una inmersión continua en agua caliente, por ej. superior a los 60° C (140° F), el material se deteriora desde el punto de vista químico a través del tiempo. Este deterioro o avería se conoce como hidrólisis. La superficie del material se ablanda al comienzo y finalmente se raja y se rompe.

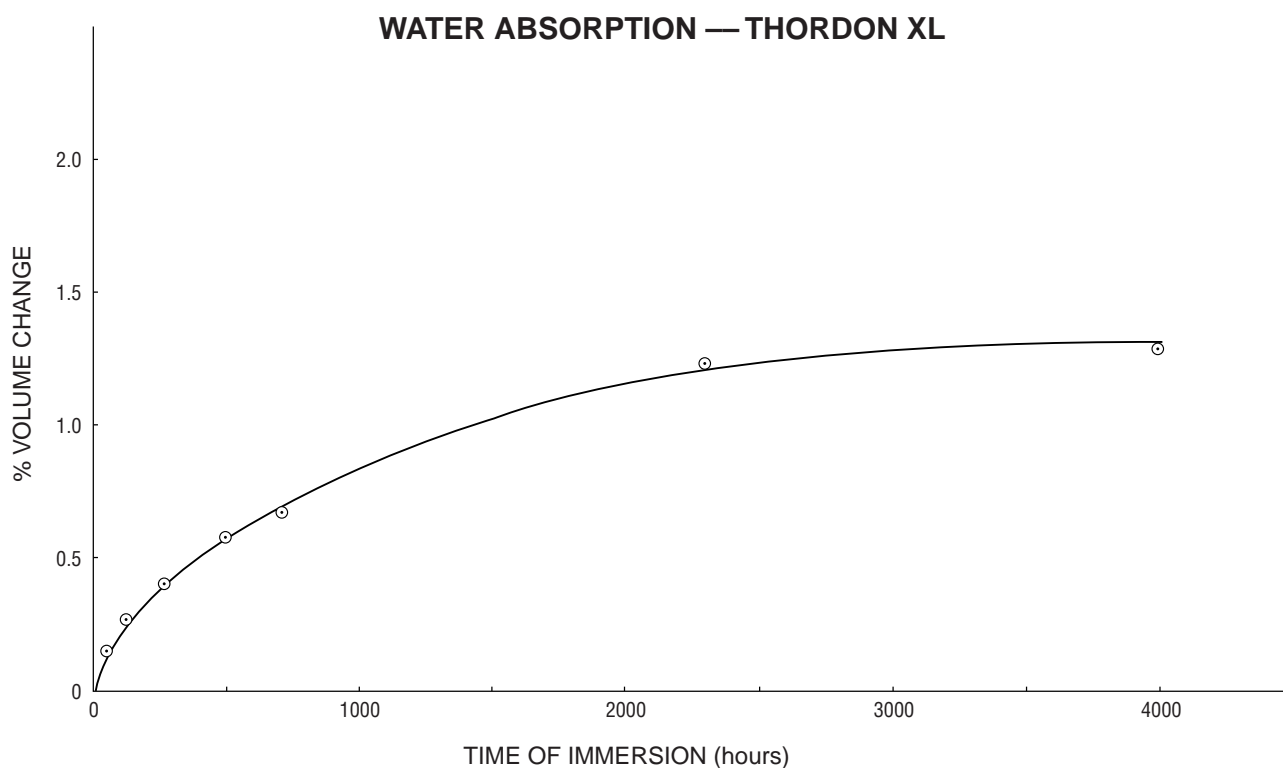


FIG. 5

PROPIEDADES FÍSICAS

c) FACTOR DE FORMA

Las pruebas de compresión de elastómeros han determinado que la curva de esfuerzo/deformación se ve afectada en gran medida por la forma de la pieza. Este efecto se conoce como Factor de Forma y se determina dividiendo el área cargada por el área libre a deformarse.

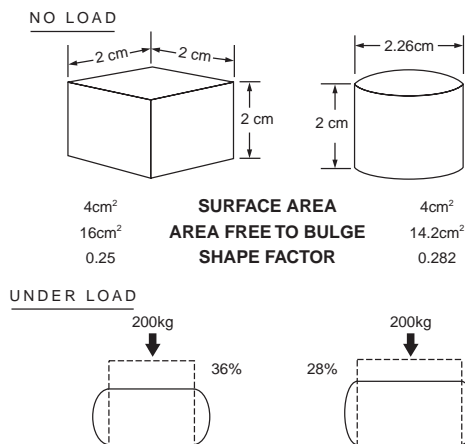


FIG. 6

La Figura 6 muestra un elastómero de forma cuadrada maciza y uno de forma cilíndrica. Si se presume que se aplica una carga uniforme a la superficie superior de cada uno, es posible calcular el área cargada y el área libre a deformarse en ambos formatos.

La parte superior del cuadrado está cargada y tiene un área cargada de (2 cm x 2 cm) = 4 cm². El área que está libre a deformarse consiste en los 4 lados, haciendo un total de 4 lados x 4 cm² por lado = 16 cm². La parte inferior del formato soporta la carga y por lo tanto no se puede deformar. La parte inferior no está incluida en la suma del área libre a deformarse.

$$\therefore \text{Factor de forma} = \frac{\text{Área cargada}}{\text{Área libre a deformarse}} = \frac{4}{16} = 0.25$$

Del mismo modo, para el formato cilíndrico, el área cargada es ($\pi \times 2.26^2 \div 4$) = 4.00 cm². El área libre a deformarse consiste en el área de la pared del cilindro y es la circunferencia x altura =

$$\pi \times 2.26 \text{ cm} \times 2.00 \text{ cm} = 14.20 \text{ cm}^2.$$

$$\therefore \text{Factor de forma} = \frac{\text{Área cargada}}{\text{Área libre a deformarse}} = \frac{4}{14.20} = 0.282$$

Con una carga de 200 kg, la forma cilíndrica se desviará aproximadamente 28% de su altura en comparación con 36% para la forma cuadrada.

Esta diferencia es un resultado directo de la diferencia en el factor de forma entre las dos formas. Para una carga determinada, a medida que aumenta el factor de forma, disminuye la deflexión resultante del elastómero.

Esto es importante con respecto al cojinete de camisa. La ecuación cambia un poco con respecto a un cojinete dentro de un alojamiento.

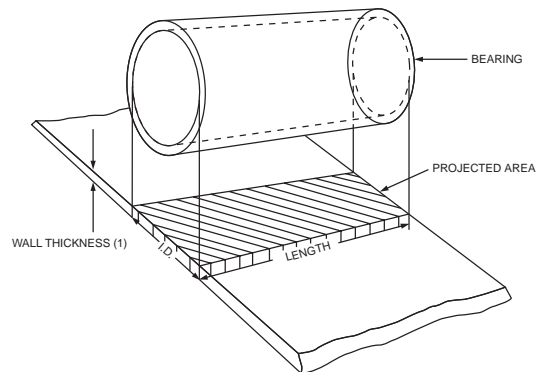


FIG. 7

$$\therefore \text{Factor de forma} = \frac{\text{Longitud del cojinete}}{2 \times \text{espesor de la pared}}$$

De la ecuación del factor de forma se puede observar que si se reduce el espesor, aumentará el factor de forma. Las pruebas han demostrado que para un elastómero cargado, a medida que aumenta el factor de forma, disminuye la deflexión para una carga determinada, o para una deflexión determinada, el factor de forma debe aumentar a medida que aumenta la carga.

El factor de forma que se usa en la mayoría de las pruebas de Thordon es 8, con los resultados y el método de prueba ilustrados en la siguiente sub-sección, d) Esfuerzo / Deformación.

d) ESFUERZO Y DEFORMACIÓN

Cuando se aplica una carga sobre un Thordon, como un muelle, éste se mueve de acuerdo a la fuerza ejercida. Esto se conoce generalmente como compresión y no significa que ocurre un cambio en el volumen del elastómero, sino que hay un cambio en su forma.

Las curvas de esfuerzo/deformación por compresión pueden ser consideradas como una extensión de la curva de esfuerzo/deformación por tracción que es continua a través del origen. Sin embargo, las muestras sometidas a compresión deben tener libertad de movimiento y sus caras deben estar lubricadas. En general, los elastómeros sometidos a compresión tienden a adherirse a la superficie y las condiciones de adherencia limitan su movimiento. Esto cambia la curva de esfuerzo/deformación y produce una pendiente más grande y un módulo más alto.

Las curvas normales de esfuerzo/deformación se determinan en experimentos que usan una máquina de ensayo de tracción y una muestra de prueba estándar. Sin embargo, para poder desarrollar datos que sean más adecuados a la carga de un cojinete Thordon, se decidió hacer una prueba del material en el modo de compresión, usando una forma completa de cojinete.

PROPIEDADES FÍSICAS

La Figura 8 ilustra la forma en que se cargó el cojinete y cómo se midió la deflexión. Observe que la deflexión del eje se sustrajo de la deflexión del alojamiento para poder obtener las desviaciones netas del cojinete.

En la Figura 9, la curva de esfuerzo/deformación para Thordon depende en gran medida del factor de forma del material y del grado de libertad de movimiento que tenga con respecto al material de acoplamiento. Una muestra adherida llevaría más carga que una muestra con movimiento libre para la misma deflexión. Si se agrega lubricación a la superficie de acoplamiento, permitiendo que el elastómero se mueva libremente durante el proceso de carga, la curva será más plana que en el caso de una superficie de acoplamiento seca.

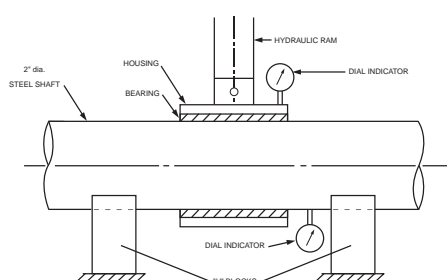


FIG. 8

El tamaño del cojinete fue seleccionado para producir un factor de forma de 8, que es el típico en la mayoría de las instalaciones de Thordon ajustadas a presión. La Figura 9 se desarrolló en base a estos resultados y fue corregida para eliminar el desplazamiento original del 2% y tener en cuenta el "asentamiento".

THORDON STRESS-STRAIN CURVES

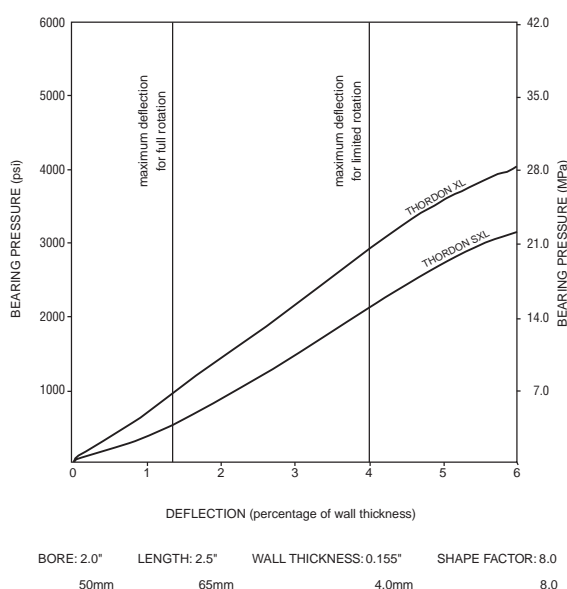


FIG. 9

Al tomar el concepto del factor de forma a su conclusión lógica, es posible diseñar cojinetes de camisa Thordon capaces de operar a presiones mucho más altas que las indicadas en la Figura 9.

Por ejemplo, el cojinete TRAXL de Thordon desarrolla factores de forma muy altos al polimerizar una capa delgada del SXL de Thordon en un portador metálico. Según el ambiente de trabajo, los cojinetes TRAXL pueden aceptar cargas de hasta 70 MPa (10,000 psi) o mayores.

	E_0 (MPa)	E_0 (psi)	γ (Coeficiente de Poisson)
XL	490	71,000	0.45
SXL	440	64,000	0.45

Los XL y SXL de Thordon son elastómeros verdaderos y, como tales, no tienen una resistencia nominal a la compresión.

e) RIGIDEZ

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

$$\text{Rigidez} = \frac{L \cdot D}{t} \times E_0$$

en donde: L = longitud del cojinete - metros (pulgadas)
 D = diámetro del cojinete - metros (pulgadas)
 t = espesor de la pared - metros (pulgadas)
 E_0 = Módulo de Young en compresión - MPa (psi)

Para los cojinetes con parámetros dimensionales iguales, la rigidez del cojinete es directamente proporcional al valor del módulo de Young en compresión para el material. El siguiente cuadro muestra el valor de E_0 , del módulo de Young (en compresión) para diferentes materiales que se usan generalmente en los cojinetes.

MATERIAL	E_0 (MPa)	E_0 (psi)
Caucho	$0,103 \times 10^3$	$0,015 \times 10^6$
Thordon SXL	$0,440 \times 10^3$	$0,064 \times 10^6$
Thordon XL	$0,490 \times 10^3$	$0,071 \times 10^6$
Fenólico laminado	$1,730 \times 10^3$	$0,251 \times 10^6$
Metal blanco (antifricción)	$33,500 \times 10^3$	$4,860 \times 10^6$
Acero	$206,900 \times 10^3$	$30,000 \times 10^6$

En base a la información que precede, un cojinete XL de Thordon sería 4.7 veces más rígido que el caucho, suponiendo que los cojinetes tengan el mismo tamaño y factor de forma.

PROPIEDADES FÍSICAS

La rigidez de las estructuras de soporte del cojinete oscila generalmente entre 0.5 y 1.00 MN-mm (2.8 y 5.6 x 10⁶ lbs/pulgada). Esta es mucho menor que la rigidez del material típico del cojinete, de 5.0 y 20.0 MN-mm (28.0 y 112.0 x 10⁶ lbs/pulgada), y, como resultado, la rigidez del material del cojinete generalmente no se tiene en cuenta en los cálculos de vibraciones en torbellino.

Sin embargo, puede haber excepciones cuando se especifican cojinetes de caucho, debido a las características de poca rigidez del caucho (20% a 25% de la rigidez del Thordon). Los diseñadores de líneas de ejes que están acostumbrados a especificar cojinetes hechos con materiales de caucho, generalmente consideran que el cojinete es un punto en donde se debe considerar la flexibilidad cuando se calcula la vibración en torbellino.

Esto no sucede con los XL y SXL de Thordon, ya que debido a su rigidez considerablemente más alta, se puede presumir que el cojinete Thordon será tan rígido como la estructura de soporte del mismo.

NOTA: Se supone que el factor de forma del cojinete es 8 para estos cálculos. Para los materiales elastómeros, el módulo de elasticidad real en compresión, E_o, aumenta relativamente muy poco con respecto al gran aumento en el factor de forma. Por lo tanto, se estima que los valores de rigidez supuestos tienen una precisión de + / - 20% en una gama amplia de factores de forma de cojinetes.

f) COMPRESIÓN REMANENTE - DESLIZAMIENTO - ESFUERZO DE RELAJACIÓN

i) Compresión remanente

La compresión remanente o permanente es la deformación residual que permanece después de la remoción del esfuerzo deformante de compresión. Generalmente se registra como una proporción de la deflexión inicial y se determina por uno de los siguientes dos métodos de prueba, Método A o Método B de ASTM D-395.

El Método "A" define una prueba bajo presión, temperatura y tiempo constantes, mientras que el Método "B" define una deflexión constante en porcentaje, junto con una temperatura y tiempo constantes.

Por ejemplo, se encontró que la compresión remanente del Thordon determinada mediante el Método "A" es aproximadamente 9% para una presión de 9.3 MPa (1350 psi) y una temperatura de 85° C (185° F).

Para reducir la compresión remanente se debe aumentar el factor de forma, lo que reducirá la deflexión inicial. Es especialmente importante aumentar el factor de forma cuando la presión sobrepasa los 9.3 MPa (1350 psi). En estas aplicaciones, se deben usar cojinetes Thordon de alta presión.

ii) Deslizamiento

Cuando se somete un elastómero a una carga, éste se deformará proporcionalmente a esa carga y en proporción inversa al factor de forma. La deformación también continuará con el tiempo. Este efecto se conoce como "deslizamiento" y ocurre a cualquier grado de esfuerzo. El deslizamiento se expresa generalmente como un porcentaje de la deflexión inicial y puede ser de un 25% a un 70%. Por lo tanto, la cantidad de deslizamiento, al igual que la compresión remanente, se puede controlar aumentando el factor de forma a medida que aumenta la carga para así reducir el esfuerzo para una presión en particular.

iii) Esfuerzo de relajación

El esfuerzo de relajación es el resultado directo del deslizamiento y varía según el grado de esfuerzo. El esfuerzo de relajación se expresa generalmente en porcentaje de esfuerzo restante después de un período de tiempo específico a una temperatura determinada.

Las pruebas han determinado que los cojinetes Thordon pueden perder su ajuste entre piezas en el alojamiento cuando están sometidos a temperaturas elevadas. El SXL y el Compac de Thordon eliminan el esfuerzo a aproximadamente 60° C (140° F) mientras que el XL y el Composite de Thordon eliminan el esfuerzo a aproximadamente 80° C (175° F).

g) IMPACTO / ELASTICIDAD

Thordon, que posee una gran resistencia al impacto tiene la capacidad de absorber las cargas de choque y la elasticidad de recuperar su formato original. La elasticidad se define como la relación entre la energía empleada en la recuperación después de una deformación y la energía que se necesitó para producir la deformación. Esta combinación permite que el Thordon resista "los golpes de deformación" que ocurren frecuentemente en metales o plásticos. Con una resistencia al impacto casi 10 veces mayor que la del nylon (consulte el Cuadro 1 en la página 14), ¡Thordon es casi irrompible!

En aplicaciones en donde las cargas de impacto son bastante poco frecuentes, se deberá diseñar un cojinete con una pared de mayor espesor.

h) HISTÉRESIS

Histéresis es un tipo de falla dinámica debida a una alta frecuencia de flexión. La falla ocurre cuando el material absorbe una carga de impacto y antes de que pueda recuperarse completamente del primer impacto, se ve sometida a otro. El resultado es una acumulación de energía en el centro del material en forma de calor. Este calor, si se continúa acumulando destruirá el material. La histéresis es el porcentaje de pérdida de energía por ciclo de deformación y se puede medir como la diferencia entre el porcentaje de elasticidad y el 100%.

Thordon, debido a la naturaleza de su fórmula, puede fallar debido a histéresis. Si el uso que se está considerando, hará que el Thordon esté sometido a cargas de impacto dinámicas que puedan provocar histéresis, existen ciertas consideraciones en el diseño que minimizarán la posibilidad de problemas. La Figura 10 ilustra cómo el aumento del factor de forma (reduciendo el espesor de la pared) reducirá la deflexión y aumentará la tasa de recuperación, disminuyendo la creación y acumulación de calor. Una pared con menos espesor también permite una mayor disipación del calor a través del cojinete y hacia el alojamiento, para reducir el grado de acumulación del calor.

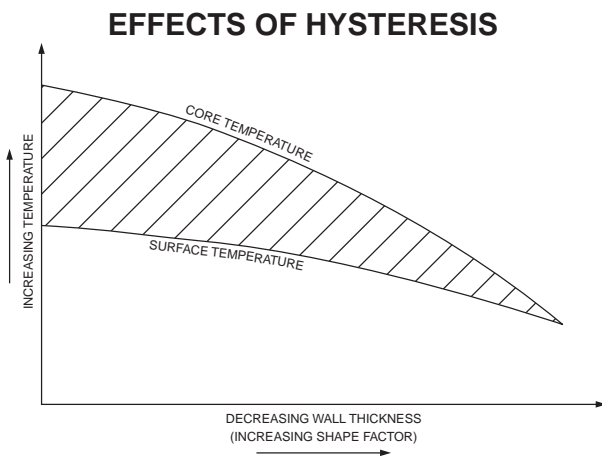
i) RESISTENCIA QUÍMICA

Thordon no es corrosivo y es resistente al aceite, al agua y a la mayoría de las sustancias químicas. No se ve afectado por los lubricantes que se usan generalmente en cojinetes de camisa.

Thordon no se hincha en aceite. No se ve afectado por inmersiones en ácidos o cáusticos suaves ($\text{pH } 7 \pm 2$) o en otros entornos químicos que podrían ser perjudiciales para cojinetes metálicos.

En usos críticos, se recomienda realizar una prueba de inmersión para determinar si Thordon se puede usar con seguridad. Un ablandamiento considerable o cambios dimensionales después de veinticuatro horas de inmersión a las temperaturas de uso, indicarán que Thordon no es adecuado para esa aplicación en particular.

Para obtener más información al respecto, comuníquese con su distribuidor Thordon o con Thordon Bearings Inc.



PROPIEDADES FÍSICAS

j) CUADRO DE COMPARACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS

PROPIEDAD	MÉTODO DE PRUEBA	UNIDADES	XL DE THORDON	SXL DE THORDON	GM2401	NYLON RELLENO	UHMW PE	TFE	FENÓLICO LAMINADO	CARBÓN	BRONCE
Resistencia a la tracción	ASTM D-412-68	P.S.I. (MPa)	5000 (34.5)	5500 (37.9)	4000 (27.5)	11,165 (76.9)	3255 (22.4)	4110 (28.3)	5050 (34.9)	7500 (51.7)	35,000 (241)
Resistencia de corte	ASTM D-732-73	P.S.I. (MPa)	6551 (45.2)	4750 (32.7)	2750 (18.9)	10,500 (72.3)	—	—	8500 (58.6)	N/A	28,000 (192.9)
Alargamiento a rotura	ASTM D-412-68	%	122	207	400	91.5	390	36.5	8.96	8.5	48
Resistencia al impacto (muesca)	ASTM D-256-73	FT-LBS/INS (cm-kg/cm)	3 (16.7)	6 (35.4)	N/B**	1.07 (5.9)	12.05 (66.6)	4.4 (24.3)	3.9 (21.6)	8 (4.4)	40.2 (22.1)
Conductividad térmica	Método de dos placas	BTU/HR Ft ² /°F/pul (CAL/SEC) cm ² /°C/cm x 10 ⁴)	0.6 (2.4)	0.6 (2.4)	0.86 (3.4)	1.7 (6.8)	2.5 (10)	1.7 (5.6)	4.6 (15.8)	1.2 (41.2)	18.3 (62.8)
Coeficiente de expansión/contracción térmica	70°F a 175°F	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵			9	3.5	21	5.6	0.94	0.13	.99
	21°C a 80°C	cm/cm/°C x 10 ⁻⁵			16.2	6.48	37.8	10	1.7	0.234	1.78
	menos de 32°F	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵	5.7	6.1							
	menos de 0°C	cm/cm/°C x 10 ⁻⁵	10.2	10.9							
	32°F a 86°F	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵	8.2	8.4							
	0°C a 30°C	cm/cm/°C x 10 ⁻⁵	14.8	15.1							
más de 86°F	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵	10.1	11.7								
más de 30°C	cm/cm/°C x 10 ⁻⁵	18.1	21.1								
Absorción de agua (volumen)	Medida de muestra de 13" de longitud	%	1.3	1.3	1.3	6.5	0	0	1.6	0	0
Hinchazón por aceite		%	0	0	0	6.5	0	0	1.6	0	0
Gravedad específica	—	—	1.2	1.16	1.1	1.14	0.9	2.17	1.7	1.84	8.83
Inflamabilidad	ASTM D-635-56T	PUL/MIN (cm/min)	*S.E.	*S.E.	*S.E.	*S.E.	*S.E.	*S.E.	*S.E.	+NF.	+NF.
Dureza	ASTM D-2240-68	SHORE D.	73	67	43	83	64	60	90	80	96
Potencia dieléctrica	ASTM D-149-64	V/MIL (V/mm)	850 -33,464	950 -37,401	—	350 -13,778	500 -19,685	500 -19,685	17 -669	Conductor	Conductor
Temperatura de operación	—	°F (°C)	-80/225 (-62/107)	-80/225 (-62/107)	-80/225 (-62/107)	-40/300 (-40/150)	-104/180 (-75/87)	-450/500 (-267/260)	-13.5/370 (-25/188)	-10/500 (-23/260)	-150/212 (-100/100)

* S.E. - Extinción automática

+ N.F. - No inflamable

CUADRO 1

NOTA: Todas las pruebas para desarrollar estos datos fueron realizadas bajo condiciones cuidadosamente controladas en nuestros laboratorios, para garantizar los datos relativos más exactos posibles. Es importante indicar que las comparaciones de la resistencia a la tracción, aunque son un indicador

importante de las propiedades relativas de los metales, son menos significativas con materiales no metálicos, especialmente en los diseños de cojinetes en los que el material del cojinete está sometido a compresión.

** N/B La muestra de prueba no se rompió.

GUÍA DE DISEÑO

- a) Análisis de aplicación
- b) Presión del cojinete
- c) Velocidad
- d) Gráficos de P.V.T.
- e) Índice de L/D
- f) Espesor de pared
- g) Superficie de acoplamiento
- h) Ajuste
- i) Tolerancia de maquinado
- j) Proceso de selección
- k) Problemas y causas de las fallas

a) ANÁLISIS DE APLICACIÓN

Para poder realizar el análisis de una aplicación, es necesario examinar toda la información correspondiente y evaluarla correctamente. La lista siguiente cubre los temas generales que se han discutido en detalle en secciones anteriores o que serán discutidos en esta sección.

- Ambiente (i) Temperatura
(ii) Abrasivo o Limpio
- Presión
- Velocidad de deslizamiento
- Tipo de lubricación
- Tamaño
- Método de retención
- Material usado anteriormente y problemas asociados con el mismo
- Superficie de acoplamiento
- Requerimientos de vida útil
- Ciclo de trabajo

b) PRESIÓN DEL COJINETE

La presión del cojinete se calcula dividiendo la carga radial por el área proyectada o transversal. El área se determina multiplicando el diámetro interior del cojinete por el largo del mismo, según se ilustra en la Figura 11. La división de la carga por el área proyectada da la presión aproximada y supone que es uniforme a través del área. En realidad, la presión es máxima en la posición de las 6 en el reloj y disminuye a cero en una curva parabólica cuando el eje comienza a hacer juego con el cojinete. Por lo tanto, teniendo en cuenta la capacidad de carga, conviene mantener los juegos funcionales a un mínimo.

La carga radial se debe definir como la carga máxima de diseño, la carga normal de operación o una combinación de cargas estáticas y de impacto. Además, ¿es la carga constante o cíclica? Estos factores deben ser analizados en el proceso de selección de la calidad tipo según se indica en la sub-sección (a).

$$\text{Presión del cojinete} = \frac{\text{carga radial}}{\text{área proyectada}} = \frac{\text{carga}}{\text{Largo} \times \text{diámetro interior}}$$

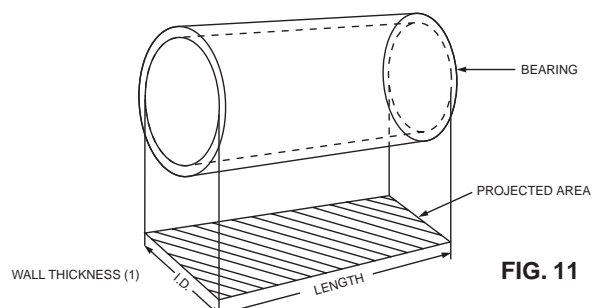


FIG. 11

GUÍA DE DISEÑO

c) VELOCIDAD

La velocidad de deslizamiento o velocidad periférica del eje es un factor importante del diseño. La velocidad forma parte de la fórmula que se usa para terminar el calor por rozamiento y se calcula mediante la siguiente ecuación;

$$V = \frac{\pi dN}{12} \text{ (fpm)} \quad \text{ó} \quad \frac{\pi dN}{60 \times 1000} \text{ (m/seg)}$$

$$V = 0.262 dN \text{ (fpm)} \quad \text{ó} \quad \frac{Nd}{19,100} \text{ (m/seg)}$$

en donde: V = velocidad de deslizamiento
d = diámetro del eje – pulgadas para imperial milímetro para métrico
N = rpm del eje
 π = pi constante 3.1416

d) GRÁFICOS DE P.V.T.

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

$$H \sim PV\mu T$$

en donde: H = Calor o aumento de la temperatura
P = Presión
V = Velocidad
 μ = coeficiente de fricción
T = tiempo

Para poder evaluar una aplicación, es necesario saber el ciclo de trabajo de la máquina. ¿Cuántas horas por día funciona, por ej. 8 horas, 24 horas o se enciende y se apaga? ¿Hay una rotación completa, que generalmente se especifica en rpm, o pasa por un ciclo y oscila a través de un ángulo límite? ¿A través de qué ángulo y con qué frecuencia ocurre el movimiento, y cuántas horas al día (Ciclo de Trabajo)? Todos estos factores intervienen en la determinación de la cantidad de calor por rozamiento que se generará bajo las presiones definidas.

Sin embargo, si el calor por rozamiento generado se elimina con un flujo suficiente de lubricante refrigerante como el agua, el aceite o un líquido del proceso, los cojinetes Thordon se desempeñarán bien a velocidad muy superiores a los límites indicados en los gráficos de PVT. Las aplicaciones en donde ocurre eso incluyen propulsores marinos y cojinetes de ejes de bombas verticales.

Los gráficos de PVT (Figuras 12 (a) - (f)) han sido desarrollados por Thordon Bearings Inc. como guía para el ingeniero de diseño en la selección de la calidad correcta de Thordon para las presiones específicas de operación, las velocidades de deslizamiento y los tiempos. Las curvas se han desarrollado usando la

técnica de presión escalonada en donde se hacen pruebas del material a una presión a diferentes velocidades, usando la temperatura del cojinete como factor limitante. El límite de temperatura que se determinó en forma arbitraria para todas las calidades de Thordon durante las pruebas fue 82° C (180° F), medido en el diámetro exterior del cojinete, a excepción de las pruebas dentro del agua.

El límite en el agua se estableció a 60° C (140° F) para evitar la hidrólisis. Cuando se alcanzó la temperatura límite en la prueba, se detuvo la prueba y se registró el tiempo. Luego se permitió que la temperatura de la muestra de prueba regrese a la temperatura ambiente antes de repetir la prueba a otra velocidad. Las pruebas se realizaron usando cojinetes con un factor de forma de 4.

Para usar los gráficos, seleccione el tipo de lubricación que más se asemeja a su aplicación. Ubique el valor de velocidad de deslizamiento para su aplicación y el lugar en que hace contacto con la curva más cercana a su presión, lea el tiempo que se requiere para alcanzar el límite de temperatura operacional. Si el tiempo requerido para su aplicación es menor que ese valor, entonces esta aplicación probablemente sea la adecuada. Si no lo es, entonces deberá seleccionar una calidad diferente de Thordon o mejorar la lubricación o el enfriamiento especificados.

Los gráficos de PVT para el aceite y el agua fueron desarrollados usando **una inmersión** de aceite o de agua sin corriente de líquido ni refrigeración. Si se puede diseñar un sistema que incorpore un flujo forzado de lubricante en lugar de una inmersión, se logrará disipar la mayor parte del calor por rozamiento mediante el flujo del lubricante. Una vez que el cojinete esté funcionando en condiciones hidrodinámicas, no se desarrollará más calor por rozamiento cuando aumente la velocidad, excepto por un pequeño aumento en el roce del lubricante. Este aumento es tan pequeño que no afecta el funcionamiento del cojinete.

En estas condiciones, los límites en los gráficos no corresponden. El tubo de eje de hélice de un navío que usa lubricación de agua o de aceite es un ejemplo típico de esta situación. Thordon ha sido especificado con éxito en muchas aplicaciones con PVTs que salen del rango de los gráficos. Por ejemplo, el SXL de Thordon ha sido incorporado a ciertos diseños de bombas verticales en donde marcha en seco por períodos superiores a un minuto a velocidades superiores de las indicadas en las curvas.

NOTA 1: Como guía para posibles aplicaciones que salen de los gráficos de PVT, comuníquese con su distribuidor Thordon o con Thordon Bearings Inc.

NOTA 2: Muchos fabricantes de materiales no metálicos ofrecen y publican valores de PV con varias suposiciones incorrectas. La primera es que los valores de P y V tienen poca validez, siempre que se encuentren dentro del valor del producto. La segunda, y quizás la más peligrosa, es el tiempo de prueba limitado que se usa para desarrollar el valor de P y V. Los gráficos de PVT que aparecen en la Figura 12, ilustran que la generación del calor por rozamiento lleva tiempo. Además estos gráficos se basan en resultados de laboratorio mientras que los resultados de las aplicaciones reales pueden variar.

NOTA 3: Estos valores de guía se suministran como referencia solamente. Los límites de cualquier material varían con diferentes combinaciones de presión y velocidad así como con otras condiciones de prueba.

LUBRICATION: DRY

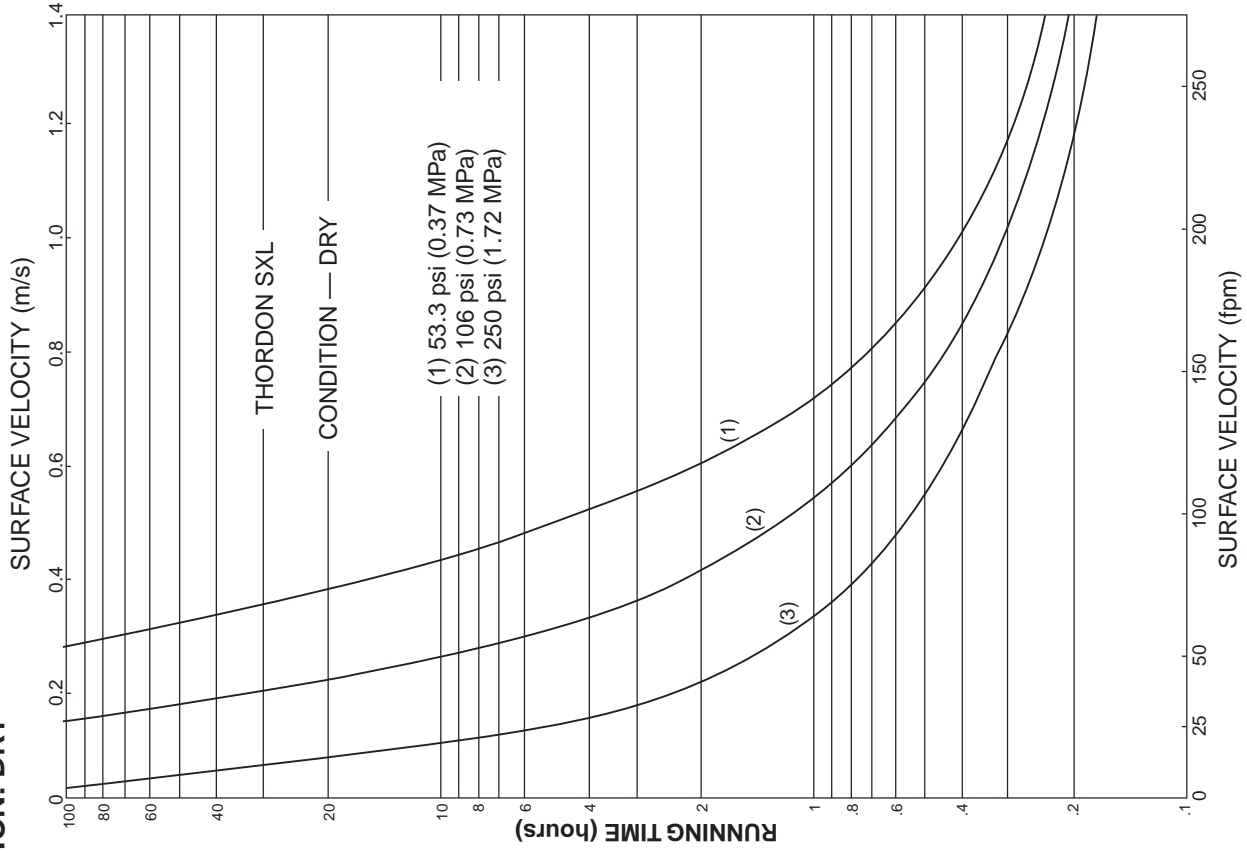


FIG. 12(b)

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

LUBRICATION: DRY

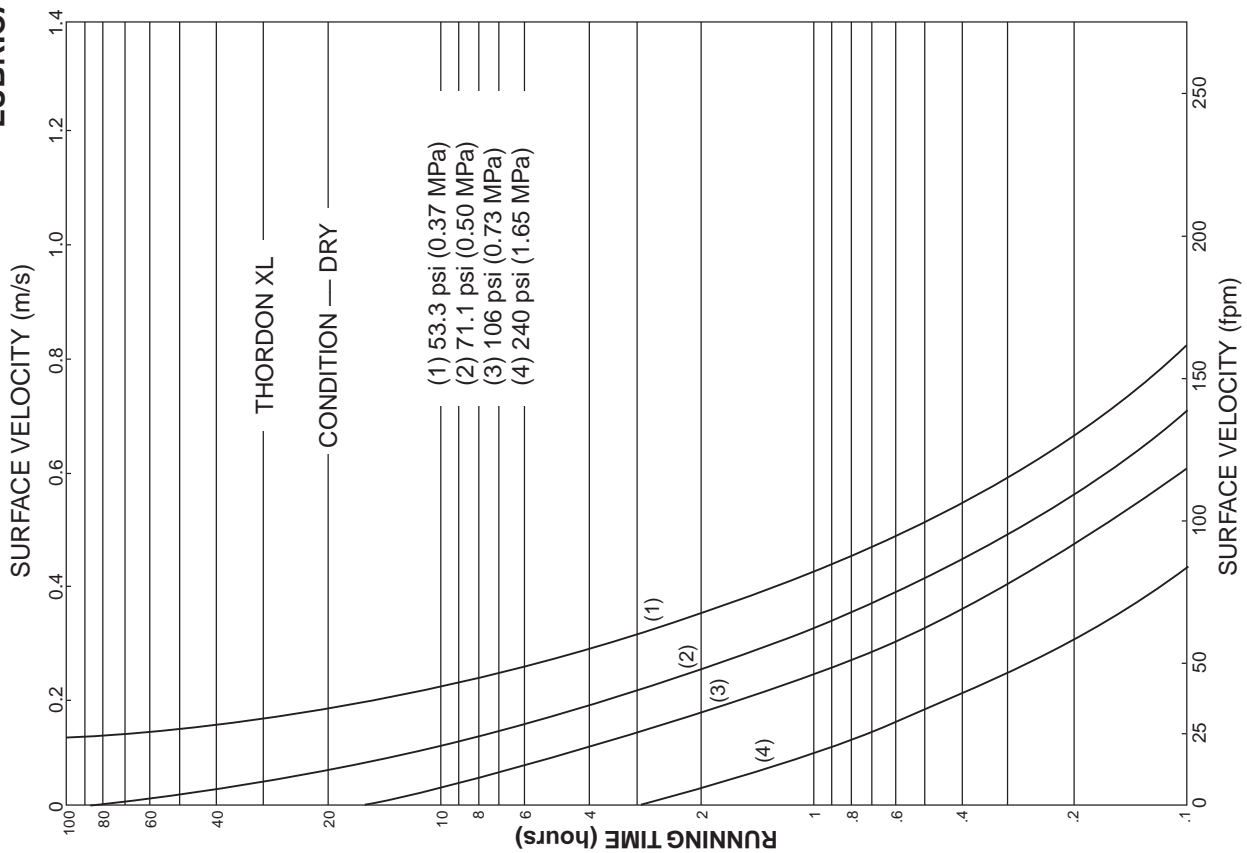


FIG. 12(a)

LUBRICATION: WATER BATH

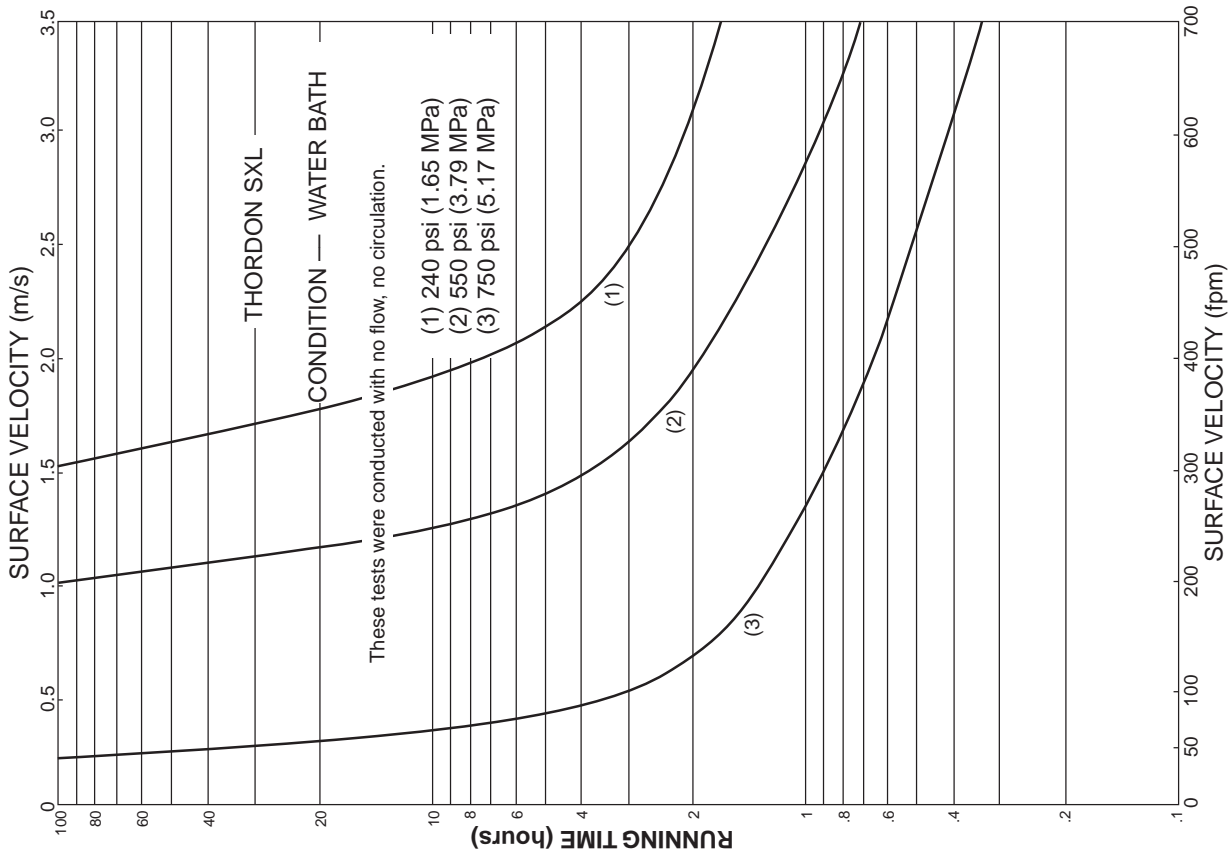


FIG. 12(c)

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

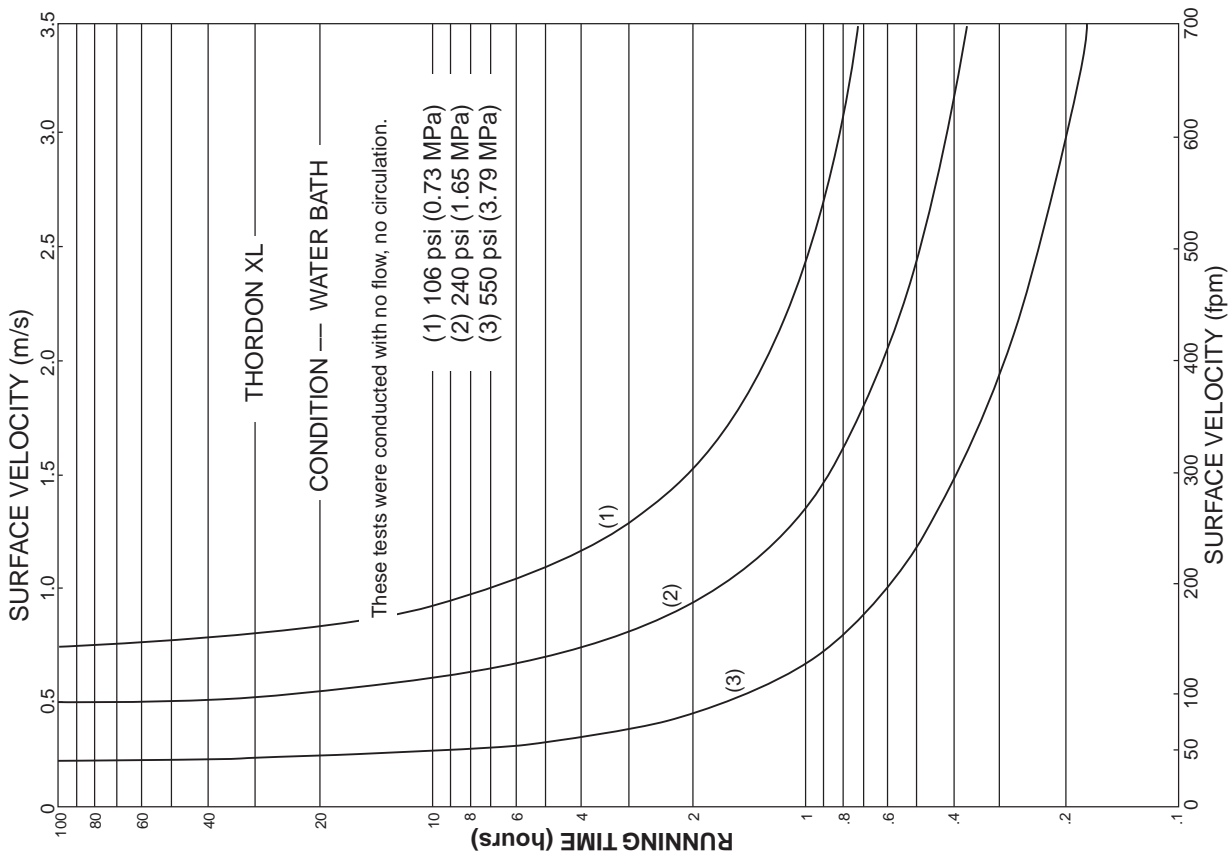


FIG. 12(d)

LUBRICATION: OIL BATH / GREASED

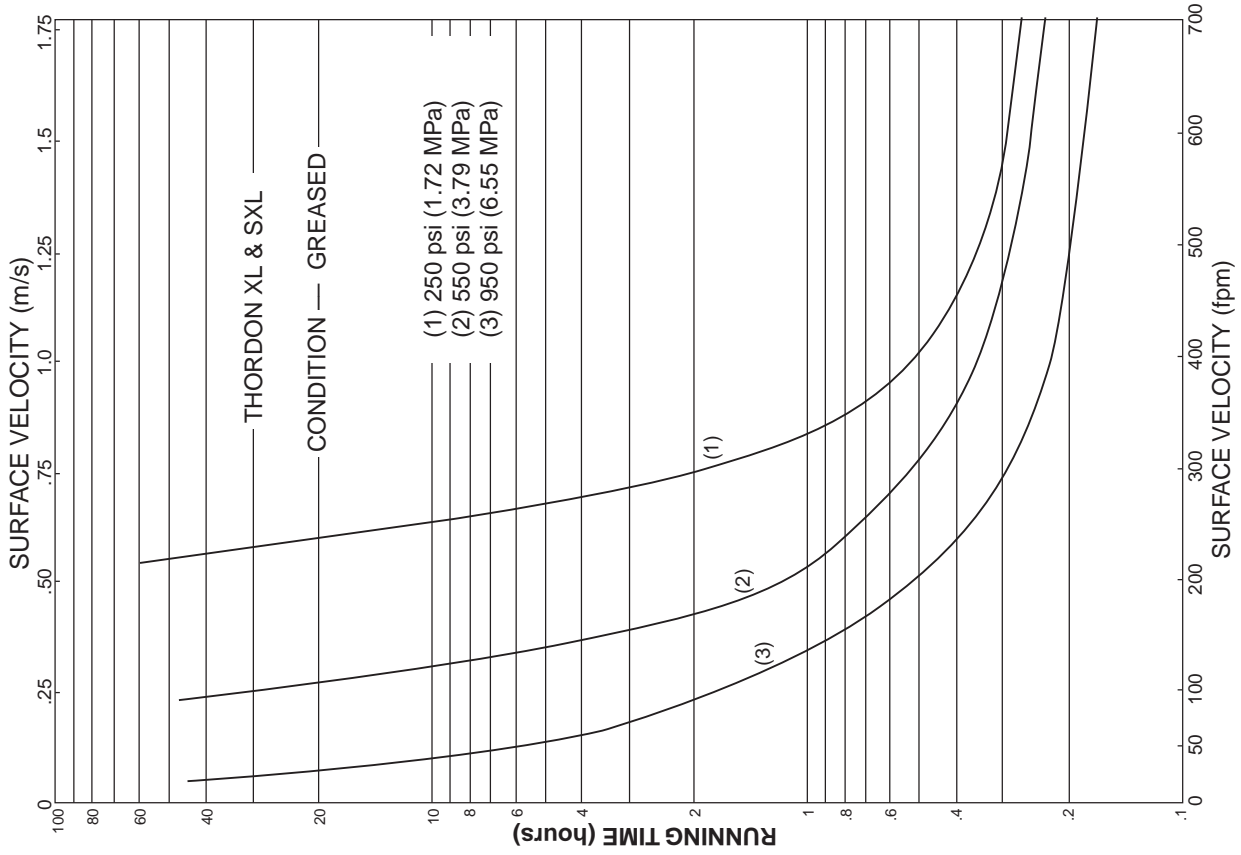


FIG. 12(f)

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

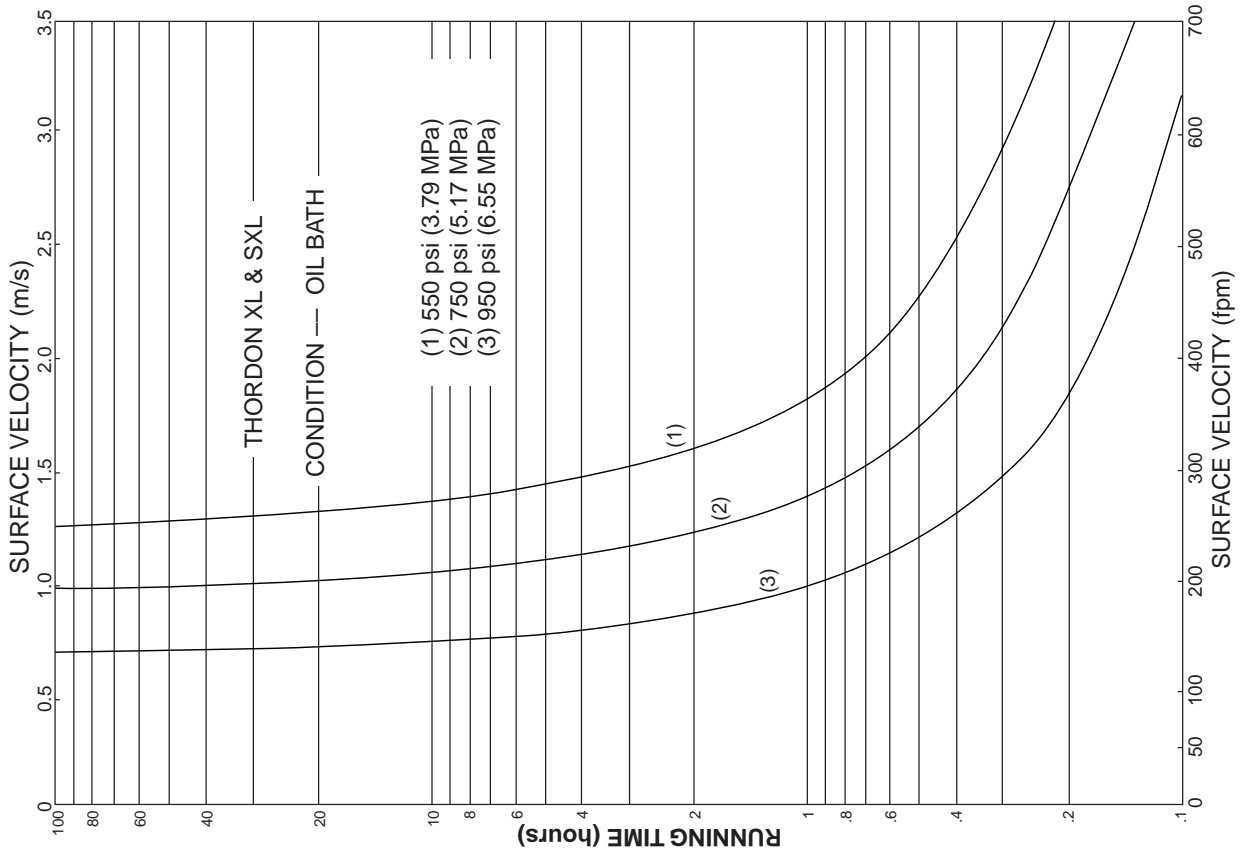


FIG. 12(e)

GUÍA DE DISEÑO

e) ÍNDICE DE LONGITUD/DIÁMETRO (L/D)

El índice de L/D para un cojinete de camisa industrial típico varía entre 1:1 a 1.5:1. Esta es la proporción óptima que permite la facilidad del alineamiento en el ensamblaje.

En aplicaciones de cojinetes marinos lubricados con agua, el índice de L/D históricamente ha sido 4:1 para mantener baja la presión del cojinete, por ej. 0.25 MPa (34.38 lbs/pulg.2). Sin embargo, debido a la carga voladiza del propulsor, la distribución de la presión tiende a ser mayor cerca del propulsor y casi cero en el extremo delantero. Durante el funcionamiento, el índice alto de L/D tiende a crear una fricción o un rozamiento más alto en el eje. Esto se debe a que la parte delantera del cojinete no está sosteniendo el eje y crea un cizallamiento innecesario del agua. Se realizó una prueba con un índice de L/D de 2:1 en las mismas condiciones que el de 4:1 y se encontró que generaba menos fuerza de rozamiento, según se ilustra en la Figura 13. Los resultados de estas pruebas junto con el fomento recibido por las asociaciones de registro marítimo, resultaron en el desarrollo del sistema de cojinetes Compac de Thordon.

En la mayoría de las aplicaciones, en donde la carga del cojinete es uniforme, los índices de L/D más altos reducen la presión y mejoran la vida útil de los cojinetes. El alineamiento resulta más difícil, pero si la presión es demasiado alta, es posible que sea necesario aumentar el índice de L/D.

Se recomienda los cojinetes Traxl de Thordon para aplicaciones de alta presión con rotación limitada.

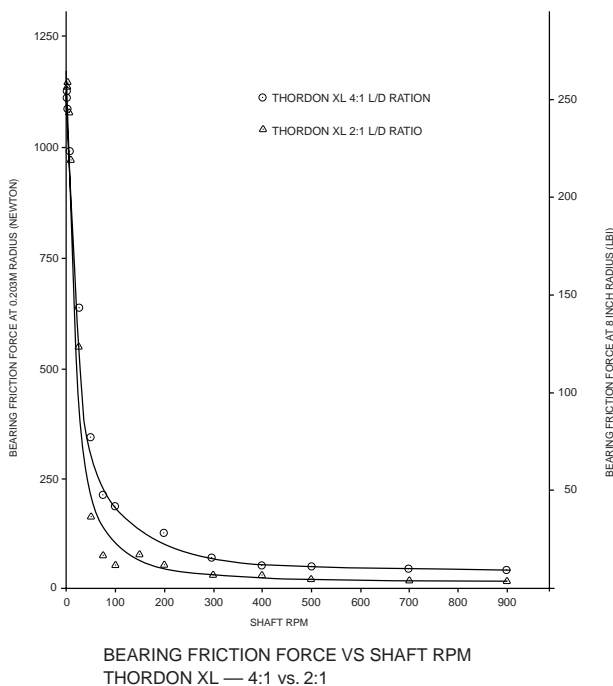


FIG. 13

f) ESPESOR DE PARED

En una aplicación en donde se especifica un Thordon como cojinete de repuesto, la configuración existente del equipo generalmente gobierna el espesor de la pared del cojinete.

Si el espesor de la pared del cojinete Thordon va a ser excesivo, el cojinete se puede usar junto con una camisa metálica en el alojamiento o un revestimiento interior en el eje. Cualquiera de estos métodos permitirá reducir el espesor de la pared del cojinete. Si se usa un revestimiento interior en el eje, se obtendrán resultados adicionales. La presión disminuye debido al aumento en el diámetro real del eje y el diámetro interior del cojinete.

El grado de desgaste permisible antes de considerar que un cojinete está "gastado" también es un factor determinante del espesor de pared. El máximo juego permitido y otros factores externos también se deben tener en cuenta en este caso.

Debido al carácter elastómero del material, es necesario sostener un cojinete Thordon a lo largo de toda su longitud. Un cojinete sin apoyo no llevará prácticamente ninguna carga.

Si se puede especificar el espesor de pared en el diseño, generalmente es preferible usar un espesor de pared más delgado. Se podrán reducir los juegos y huelgos globales, mejorará la disipación del calor y la carga máxima permisible será mayor. Sin embargo, existen ciertas aplicaciones, como aquellas con cargas de impacto poco frecuentes en donde el efecto amortiguador de un cojinete de pared más espesa mejorará el rendimiento. Sírvase comunicarse con su distribuidor Thordon o con Thordon Bearings Inc. si necesita obtener más información sobre el espesor de la pared.

i) Guía del espesor mínimo de pared recomendado para un ajuste entre piezas

El espesor mínimo de pared recomendado de un cojinete Thordon se especifica en la Figura 14 que aparece a continuación. Los valores indicados se basan en la presión de contacto entre el cojinete y el alojamiento. Si se aumenta el espesor de la pared o la cantidad de interferencia, se aumentará la presión de contacto. Debido a que la presión de contacto varía con el espesor de la pared, un cojinete estriado requiere un espesor global de pared mayor que un cojinete no estriado, según se ilustra en el gráfico. El gráfico indica el espesor mínimo de pared recomendado para un cojinete no estriado con interferencia estándar. Se supone que los cojinetes estriados tienen estrías con

una profundidad del 50% del espesor de pared, hasta un máximo de 9.5 mm (0.375") para diámetros de hasta 250 mm (10.0"). Los cojinetes con diámetros más grandes continúan con estrías de 9.5 mm (0.375") de profundidad, pero la cantidad de estrías aumenta a medida que aumenta el diámetro del cojinete.

Si un cojinete Thordon está reemplazando a otro cojinete y el espesor de pared será inferior al mínimo recomendado, existen dos opciones. Se puede adherir el cojinete o se puede aumentar la interferencia para elevar la cantidad de presión de contacto a un nivel aceptable. Sírvase comunicarse con su distribuidor Thordon o con Thordon Bearings Inc. si necesita obtener hacer una consulta con respecto al aumento del nivel de interferencia.

MINIMUM RECOMMENDED WALL THICKNESS GUIDE FOR INTERFERENCE FITTING OF GROOVED AND UN-GROOVED BEARINGS

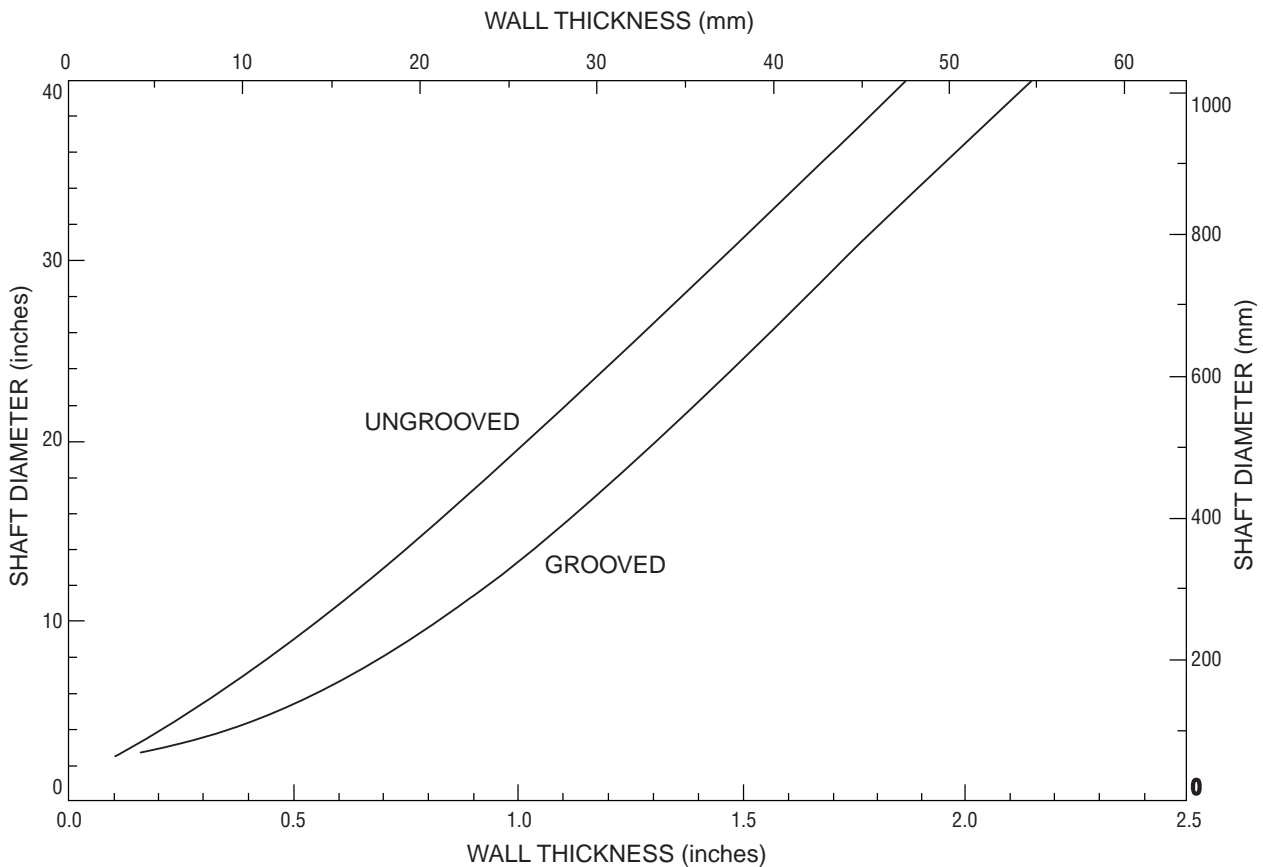


FIG. 14

GUÍA DE DISEÑO

g) SUPERFICIE DE ACOPLAMIENTO

La mayoría de superficies de acoplamiento comunes se desempeñarán bien si se usan en conjunción con los cojinetes Thordon. Si la corrosión no representa un problema, generalmente se usa acero al carbón, si existen problemas de corrosión, entonces se deberá usar un revestimiento interior de bronce en el eje. Los tipos de bronce que se desempeñan bien incluyen el bronce industrial (88% Cu, 10% Sn y 2% Zn) o niquelina 70-30.

En una aplicación abrasiva de cojinetes de camisa, las superficies de acoplamiento ideales son la superficie práctica más dura en el eje, combinada con el material más blando del cojinete que pueda soportar la carga. Se realizó una prueba abrasiva con diferentes materiales de acoplamiento contra el cojinete Composite de Thordon, cuyos resultados aparecen en la Figura 15.

Las diferentes calidades de Thordon desgastan el eje en diferentes grados, pero los materiales más blandos tienden a desgastar menos el eje y exhiben menos desgaste combinado de cojinete y eje.

Los materiales más duros para el eje con los materiales más blandos en los cojinetes son los extremos para obtener un mínimo de desgaste combinado en un

entorno altamente abrasivo. Si se cambia el eje por un material más blando o si se cambia el cojinete por un material más duro, el desgaste **combinado** aumentará.

Si el entorno abrasivo contiene menos abrasivos, entonces disminuirá la necesidad de tener un material más duro en el eje o más blando en el cojinete.

Cualquier combinación resultará efectiva en un entorno totalmente limpio con un lubricante (lo cual sólo ocurre en teoría). Sin embargo, el antiguo principio de un cojinete más blando que el eje al cual se acopla es siempre una buena guía. Se debe evitar acoplar materiales similares.

El acabado de la superficie del eje de acoplamiento debe ser lo más liso posible para limitar el desgaste inicial de asentamiento. Hemos encontrado que se genera menos calor por rozamiento con un eje más uniforme, aumentando el límite de PVT. Thordon se desempeñará en forma satisfactoria con un acabado normal maquinado en el eje. Para obtener el mejor rendimiento, se recomienda un acabado de superficie final maquinado de 0.4 a 0.8 micrómetros (16 a 32 micropulgadas). Los acabados de superficie de hasta 1.6 micrómetros (63 micropulgadas) darán un rendimiento satisfactorio.

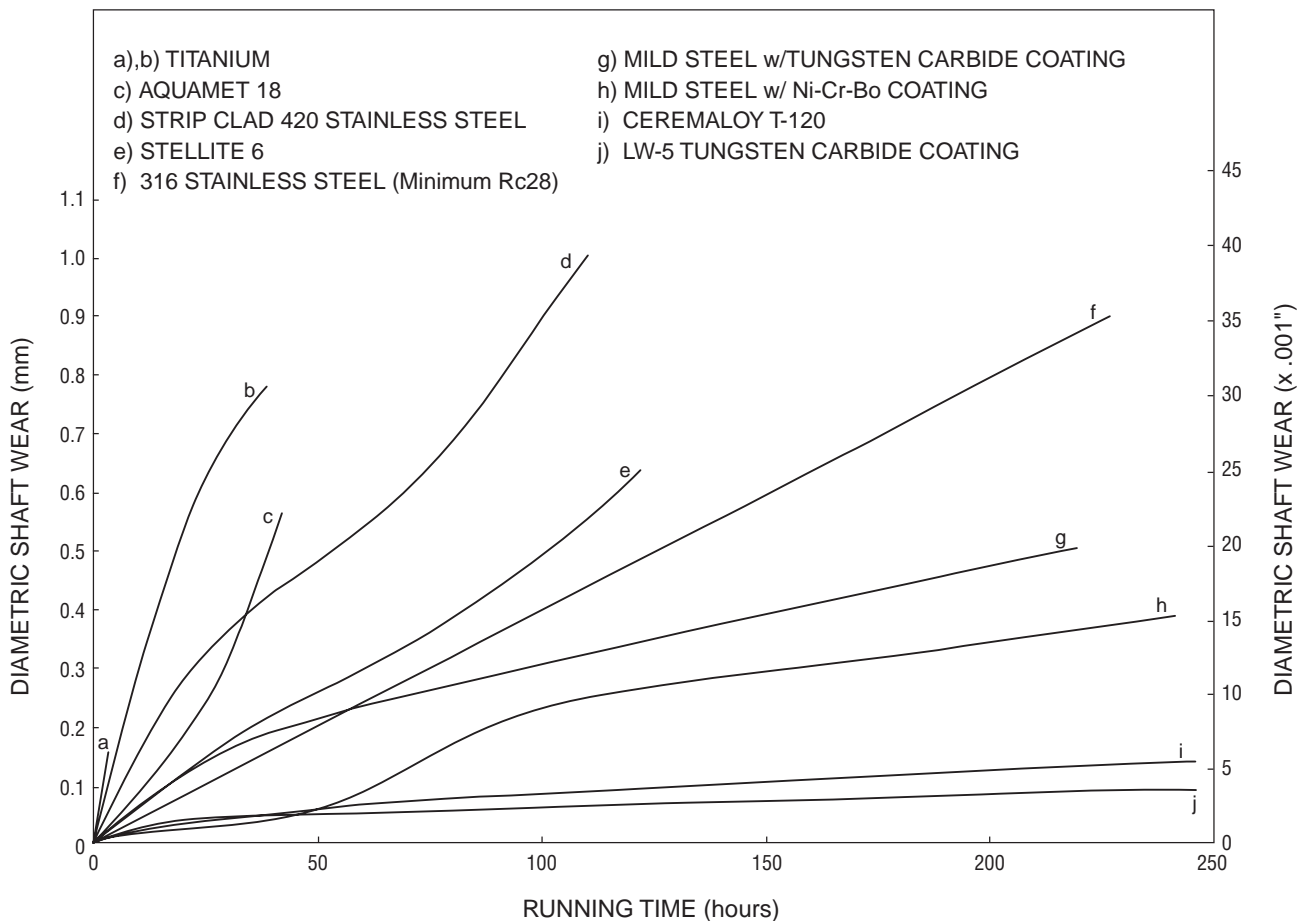


FIG. 15

h) AJUSTE

Los cojinetes Thordon se ajustan generalmente usando un ajuste entre piezas. La instalación es rápida y fácil, especialmente cuando se usa un ajuste por enfriamiento. En ciertas aplicaciones, como las que usan cojinetes de paredes delgadas, la presión de interferencia puede no ser suficiente y se deberá adherir el cojinete al alojamiento usando un adhesivo aprobado por Thordon.

Las dimensiones finales de un cojinete Thordon dependerán de la forma en que se ajustará. La selección del mejor método de ajuste es muy importante y depende de los requerimientos del uso.

Un ajuste entre piezas es suficiente para impedir la rotación del cojinete en condiciones normales de funcionamiento, pero se requiere un tope delantero y un aro de seguridad con extremo empernado para impedir el movimiento axial del cojinete. Los aros de seguridad deben ser del tamaño adecuado y deben tener un diámetro interior igual al desgaste máximo del cojinete/revestimiento, más el 10%. Los topes y los aros de seguridad no son obligatorios cuando se adhiere el cojinete, pero se recomiendan en aplicaciones críticas como precaución de seguridad.

i) Interferencia

La mayoría de las aplicaciones se pueden realizar usando un ajuste entre piezas, suponiendo que se hayan tenido en cuenta todos los factores importantes del diseño. Sin embargo, es necesario que el índice de L/D del cojinete sea por lo menos 1:1. La experiencia práctica ha demostrado que es fácil presionar los cojinetes pequeños, pero en el caso de cojinetes más grandes, es mejor emplear hielo seco o nitrógeno líquido para contraerlos. Nunca caliente el alojamiento para facilitar el ajuste ni use grasa o aceite para ayudar en el ajuste a presión.

En los casos en que el cojinete se instala con un ajuste entre piezas, es necesario tener en cuenta varios factores. Se debe considerar la cantidad de interferencia, el cierre de calibre, el juego de trabajo, la hinchazón por

agua y la expansión térmica, cuando correspondan, en las dimensiones del cojinete. La importancia de estos factores aparece en la ilustración.

Todos los cojinetes con ajuste entre piezas que se labren completamente antes de la instalación, estarán sometidos a una acumulación de tolerancias que puede crear un juego de trabajo instalado adicional. Por ejemplo, cuando un cojinete se diseña con el mínimo de juego, su máximo juego depende de las tolerancias acumuladas del diámetro exterior, el diámetro interior, el alojamiento y el eje, más el juego mínimo. Estas tolerancias se pueden reducir si se labra solamente el diámetro exterior del cojinete antes de ajustarlo y luego se labra el diámetro interior después de la instalación. Esto eliminará las tolerancias asociadas con el cierre de calibre. Pueden existir situaciones en donde, en la práctica, el cierre del calibre es diferente del pronosticado según nuestras pruebas, resultando en juegos adicionales. Si no es posible maquinarse el diámetro interior del cojinete después de la instalación, se podrá ajustar un cojinete de prueba en un alojamiento "simulado" maquinado, para determinar el cierre exacto del calibre para esa aplicación. Esto permitirá hacer los ajustes que sean necesarios.

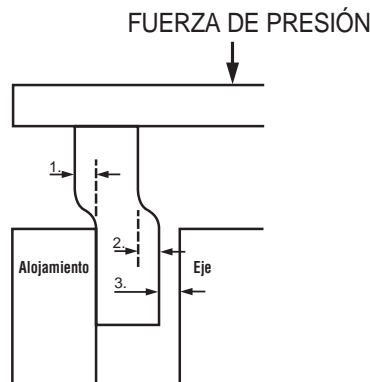
ii) Ajuste por enfriamiento

El ajuste por enfriamiento es el método más fácil para instalar cojinetes Thordon. Thordon se contrae considerablemente cuando se enfría debido a su alto coeficiente de contracción/expansión térmica, lo cual facilita un ajuste sencillo sin tener que emplear demasiados aparatos. El nitrógeno líquido es el mejor agente de enfriamiento, pero también se puede usar hielo seco para la mayoría de las instalaciones, si no se dispone de nitrógeno líquido.

El nitrógeno líquido se debe usar solamente en un envase hermético para impedir fugas del líquido. El cojinete debe quedar completamente inmerso en nitrógeno líquido, o completamente cubierto por el mismo. Cuando ya no salga vapor del nitrógeno líquido, el cojinete habrá alcanzado una temperatura de -196°C (-320°F) y se podrá instalar con facilidad. Si se usa hielo seco como medio de enfriamiento, éste deberá ser suministrado en bolitas o se deberá romper en trozos pequeños si se suministró en bloque. El hielo seco se debe empacar firmemente alrededor del cojinete, haciendo un buen contacto tanto con la superficie interior como la exterior. Después de 3 horas de haber estado empacado en hielo seco, se podrán chequear las dimensiones del cojinete para verificar si se ha contraído lo suficiente como para permitir una instalación fácil. De lo contrario, se deberá volver a empacar por una hora adicional.

PRECAUCIÓN: Se debe evitar usar nitrógeno líquido o grandes cantidades de hielo seco en áreas cerradas con mala ventilación. Los gases emitidos tienden a desplazar el oxígeno existente en el ambiente.

PARÁMETROS DE AJUSTE ENTRE PIEZAS



en donde:

1. es la interferencia
2. es el cierre de calibre
3. es el juego de trabajo instalado

Nota:

- Juego mínimo instalado = Juego de trabajo
 + Huelgo por expansión térmica (si corresponde)
 + Huelgo por absorción de agua (si corresponde)

GUÍA DE DISEÑO

La cantidad aproximada de contracción esperada, se puede estimar de la siguiente manera:

- Cada 10° C de descenso de temperatura ocasionará una disminución aproximada en el diámetro de 0.0014 mm/mm.
- Cada 10° C de descenso de temperatura ocasionará una disminución aproximada en el diámetro de 0.0008 pulgadas/pulgada de diámetro.

La cantidad teórica de nitrógeno líquido que se necesita para enfriar un cojinete Thordon para su instalación, se puede calcular de la siguiente manera:

- Litros de nitrógeno líquido requeridos = 1.78 x peso del cojinete (kg).
- Galones US de nitrógeno líquido requeridos = 0.21 x peso del cojinete (lbs.)

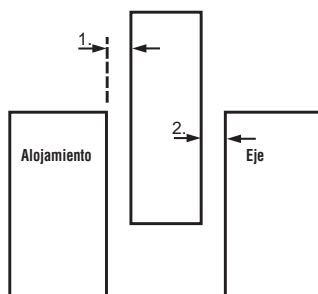
La cantidad real de nitrógeno líquido requerida puede llegar a ser el doble de esta cantidad según el tamaño del envase que se emplee, el tipo de aislamiento que tenga, etc.

iii) Adherencia

En aplicaciones en donde se usa un cojinete de pared delgada y la presión entre piezas (interferencia) no es suficiente, será necesario adherir el cojinete al alojamiento. Si se usa un cojinete de pared delgada, los efectos del cambio de temperatura e hinchazón por agua se podrán minimizar y se podrá operar a presiones más altas debido a un factor de forma más elevado.

Si se adhiere el cojinete, se deberá tener en cuenta el espesor de la adherencia, el juego de trabajo, el huelgo para la hinchazón por agua y la expansión térmica, cuando se determine el tamaño del cojinete. La importancia de estos factores aparece en la siguiente ilustración.

PARÁMETROS DE AJUSTE POR ADHERENCIA



en donde:

- 1. es el espesor de adherencia
- 2. es el juego de trabajo instalado

Nota:

- Juego mínimo instalado = Juego de trabajo
- + Huelgo por expansión térmica (si corresponde)
- + Huelgo por absorción de agua (si corresponde)

Para mantener la acumulación de tolerancias al mínimo, se debe maquinar el diámetro exterior del cojinete y luego adherirlo al alojamiento. Luego se deberá maquinar el diámetro interior. Este método se usa en aplicaciones de bombas en donde el juego del impulsor se debe mantener al mínimo.

Es importante seguir los procedimientos de adherencia incluidos con los adhesivos aprobados por Thordon para obtener buenos resultados.

NOTA: Los cojinetes de dirección grandes de Thordon con paredes delgadas a veces se ajustan con una combinación de interferencia y adherencia. En este caso se usan las dimensiones estándar para un ajuste entre piezas.

NOTA: En ciertas aplicaciones como los cojinetes seccionales simples de guía, el diseñador puede desear ajustar un cojinete Thordon en forma floja y afirmarlo contra la rotación y el movimiento axial en forma mecánica. Esto se puede hacer siempre que se tengan en cuenta los cambios de dimensión debido a cambios de temperatura e inmersión en el agua cuando se calculen las dimensiones finales del cojinete y los medios de sujeción.

iv) Alojamiento del cojinete

El alojamiento dentro del cual se instala el cojinete Thordon debe ser redondo y no ahusado ni acampanado. La máxima ovalidad permitida del alojamiento es de 1/3 del juego de trabajo inicial (normal) de diseño. El alojamiento también debe proporcionar apoyo al cojinete Thordon a través de toda su longitud. Las brechas en el alojamiento y toda otra anomalía se deberán corregir por medio del maquinado, de la instalación de una camisa, adhiriendo el cojinete (para brechas de hasta 3 mm (0.125") o estrangulándolo con un compuesto de estrangulamiento aprobado por Thordon.

i) TOLERANCIA DE MAQUINADO

Los cojinetes Thordon, que no son metálicos, no se pueden maquinar a las mismas tolerancias estrechas que el bronce o que otros materiales rígidos. Al mismo tiempo, esas tolerancias metálicas no son necesarias para obtener el mejor rendimiento. La tolerancia de maquinado estándar de Thordon para su diámetro exterior (O.D.), diámetro interior (I.D.) y espesor de pared (W.T.) son las siguientes:

Cojinetes de hasta 380 mm (15.00")

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

Cojinetes entre 380 y 600 mm (15.00" y 24.00")

O.D.	+0.18 mm	-0.00 mm	(+0.007", -0.000")
W.T.	+0.00 mm	-0.13 mm	(+0.000", -0.005")

Cojinetes superiores a 600 mm (24.00")

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

NOTA: Si una aplicación requiere tolerancias más estrechas que las indicadas en este manual, sírvase comunicarse con su distribuidor Thordon o con Thordon Bearings Inc. para obtener más información al respecto.

j) PROCESO DE SELECCIÓN

En toda aplicación de cojinetes, la consideración principal es la de garantizar que el calor por rozamiento que se desarrolla en una acción de deslizamiento, sea absorbido y disipado por el mecanismo circundante o sea extraído por un lubricante o refrigerante. Debe haber un balance en el sistema para obtener un equilibrio de la temperatura y éste debe estar por **debajo** del límite de la temperatura del material. De lo contrario, el cojinete fallará.

La segunda consideración es el tipo de entorno en el que está funcionando el cojinete, por ej. muy abrasivo o limpio, y cómo eso afectará la selección del material.

TIPO DE LUBRICACIÓN	CALIDAD	MÁXIMA PRESIÓN DE DISEÑO			
		ROTACIÓN COMPLETA		MOVIMIENTO LIMITADO	
		MPa	psi	MPa	psi
SECO	XL	0.70	(100)	3.50	(500)
	SXL	1.70	(250)	6.90	(1000)
AGUA	XL	1.40	(200)	5.20	(750)
	SXL	2.40	(350)	8.60	(1250)
GRASA	COMPOSITE	1.40	(200)	N/A	
	XL	5.20	(750)	10.30	(1500)
ACEITE	SXL	5.20	(750)	10.30	(1500)
	XL	6.90	(1000)	13.80	(2000)
	SXL	6.90	(1000)	13.80	(2000)

CUADRO 2

NOTA: El Cuadro 2 se ha preparado como guía para la selección de la calidad correcta del cojinete Thordon y se debe usar junto con los gráficos de PVT.

El Cuadro 2 indica la máxima presión de diseño para aplicaciones con rotación completa y movimiento limitado para un cojinete Thordon estándar con ajuste a presión y con un factor de forma de 8 aproximadamente.

Para aplicaciones a alta presión, en donde el calor por rozamiento generado *no es un factor* debido ya sea a un movimiento oscilante o a velocidades muy bajas, el cojinete debe ser diseñado con un factor de forma muy alto, por ej. superior a 60, como en nuestros cojinetes "Traxl". La palabra "Traxl" se refiere a un método especial que se usa en la fabricación de un cojinete SXL Thordon de pared delgada. Sin embargo, existen otras formas de hacer cojinetes con paredes delgadas que resultan en unas limitaciones de carga de diseño ligeramente más bajas, según se ilustra en el Cuadro 3.

MÉTODO DE FABRICACIÓN	PRESIÓN			
	OPERACIÓN NORMAL		ESTÁTICA PICO	
	MPa	psi	MPa	Psi
TRAXL	27.5 – 55.0	4000 – 8000	70.0 – 10,000	
ADHERENCIA EN FRÍO	13.7 – 20.6	2000 – 3000	27.5 – 04,000	

CUADRO 3

LAS CALIDADES DE THORDON

Thordon XL (Negro) se usa en una variedad de aplicaciones industriales y máquinas y ofrece un buen equilibrio entre su resistencia a la abrasión y su bajo coeficiente de fricción. XL generalmente se lubrica con grasa, agua o aceite.

Thordon SXL (Blanco) ofrece una capacidad superior para marcha en seco, un coeficiente bajo de fricción y una resistencia a la abrasión similar comparada a la del XL. SXL es la calidad más especial de Thordon y se usa en aplicaciones con cargas mayores en donde existe el riesgo de desgaste por adherencia. Los cojinetes Thordon Traxl (pared delgada de alta presión) y los cojinetes de dirección de tipo marítimo para cargas pesadas son algunas de las aplicaciones ideales. La capacidad de marcha en seco del SXL también lo hace ideal para usar en bombas verticales. Ha sido usado con éxito en bombas verticales en donde los períodos de marcha en seco duran mucho más de un minuto. SXL también viene como Thor-Tape, una tira de desgaste que se puede atornillar o adherir a las superficies de desgaste.

Thordon COMPAC (Anaranjado) es una calidad de Thordon de baja fricción que se usa en una gama de sistemas abiertos de cojinetes de ejes de propulsores lubricados con agua. El sistema de cojinetes COMPAC ha sido aprobado para los índices de L/D de 2:1. Las propiedades de diseño de COMPAC son efectivamente las mismas que las del SXL y los gráficos de diseño y cuadros de SXL también se usan para COMPAC.

Thordon Composite es un cojinete para bombas y de tipo marino de dos componentes que se ha formulado específicamente para usar en entornos muy abrasivos. El material del cojinete es negro pero es mucho más blando que el XL. Conocido como GM2401, viene encerrado en una camisa rígida Thordon para otorgarle más rigidez.

GUÍA DE DISEÑO

k) PROBLEMAS Y CAUSAS DE LAS FALLAS

PROBLEMA	RAZÓN	SOLUCIÓN
1. Los cojinetes Thordon se aflojan en el alojamiento cuando están sometidos a una reducción rápida en temperatura, aún cuando han sido diseñados para operar a esa temperatura.	Cuando se instala un cojinete con un ajuste entre piezas y luego se le somete a una rápida reducción en temperatura, se contrae con mayor rapidez que la capacidad del material para recuperar su ajuste entre piezas.	Cuando existe la posibilidad de que los cojinetes Thordon estén sometidos a este tipo de “choque térmico”, se deberá adherir el cojinete al alojamiento y sujetarlo mecánicamente.
2. Los cojinetes Thordon se aflojan en el alojamiento cuando están sometidos a períodos largos con temperaturas entre 80° C (176° F) y 100° C (212° F).	El material ha eliminado el esfuerzo y ya no hay un ajuste adecuado entre piezas. Cuando la temperatura se reduzca, el cojinete se contraerá y se aflojará en el alojamiento.	Se debe adherir el cojinete al alojamiento y sujetarlo mecánicamente.
3. En ciertas aplicaciones, el cojinete tiende a “caminar” o moverse axialmente hacia afuera del alojamiento.	Esto generalmente ocurre cuando la presión por el largo del cojinete no es uniforme ni cíclica, y el componente de las fuerzas produce una carga axial.	Verifique que el cojinete esté sujetado desde el punto de vista axial con un freno o que el cojinete esté adherido al alojamiento.
4. Un cojinete se adhiere al eje provocando un derretimiento de contacto.	O no se permitió suficiente juego o el valor combinado de PVT es demasiado alto.	Verifique que se haya calculado un juego correcto, teniendo en cuenta el huelgo de trabajo, la hinchazón por el agua y la expansión térmica, cuando corresponda. También verifique que se haya usado el huelgo correcto de cierre de calibre para los cojinetes instalados con un ajuste entre piezas. Verifique los requerimientos de PVT para confirmar si se requiere un lubricante o refrigerante auxiliares.
5. El cojinete se frota y adquiere un aspecto esmerilado que cubre todo el diámetro interior o solamente el área con carga. El cojinete puede tener un aspecto agrietado o rajado.	El cojinete ha estado funcionando dentro del agua a temperaturas elevadas, por ej. superiores a 60° C (140° F) o con vapor. El cojinete ha fallado debido a la hidrólisis que hizo que el material se ablande o se raje.	Enjuague el cojinete con agua a baja temperatura y no use vapor para limpiarlo o para enjuagarlo.
6. El material del cojinete se separa como si se hubiese deslaminado. La separación ocurre cerca de la mitad del espesor de la pared.	Acumulación de calor interno por impacto de alta frecuencia y la gran carga ha hecho que el material falle debido a la histéresis.	Es necesario reducir el espesor de la pared del cojinete para limitar la deflexión y reducir el tiempo de recuperación entre impactos.

DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

- a) Diseño según la aplicación
- b) Interferencia
- c) Cierre del calibre
- d) Juego de trabajo
- e) Huelgo por expansión térmica
- f) Huelgo por absorción de agua
- g) Cálculos paso a paso
- h) Ejemplos de cálculo
- i) Cálculos de cojinetes con chaveta
- j) Cálculos por computadora
- k) Cojinetes de alta presión

a) DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

Las dimensiones finales de un cojinete Thordon dependerán del método de ajuste. La selección del mejor método de ajuste es extremadamente importante y depende de los requerimientos de la aplicación.

Los cojinetes Thordon generalmente se ajustan por medio de una instalación con interferencia o adherencia. En ciertas aplicaciones, se usan tiras de freno mecánico o llaves para ayudar en el ajuste entre piezas. Por ejemplo, si un cojinete se ajusta a presión, entonces la interferencia y el cierre de calibre se deben tener en cuenta en los cálculos, junto con el huelgo de trabajo, la hinchazón por el agua y la expansión térmica. Sin embargo, si se adhiere al alojamiento, entonces sólo se deben considerar los tres últimos factores mencionados.

Se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Tamaño y tolerancia del alojamiento
- Diámetro y tolerancia del eje
- Longitud del cojinete
- Temperaturas de operación
- Temperatura del taller
- Tipo de lubricación
- Método de fijación

APLICACIONES

b) INTERFERENCIA

Cuando se instala un cojinete Thordon con un ajuste entre piezas, el material pasa por tres fases diferentes. Primero, hay una deflexión elástica inmediata. Segundo, hay una deflexión elástica retardada, y tercero, hay un flujo viscoso o una deflexión permanente que se conoce como compresión remanente.

Cuando se saca el cojinete del alojamiento, éste recuperará una porción de su deflexión total, casi de inmediato y luego, lentamente recuperará el resto de la interferencia, a excepción de la porción de compresión remanente. En las pruebas, la recuperación basada en una interferencia estándar, es superior al 90% de la deflexión inicial en un período de varias semanas, según se ilustra en la Figura 16.

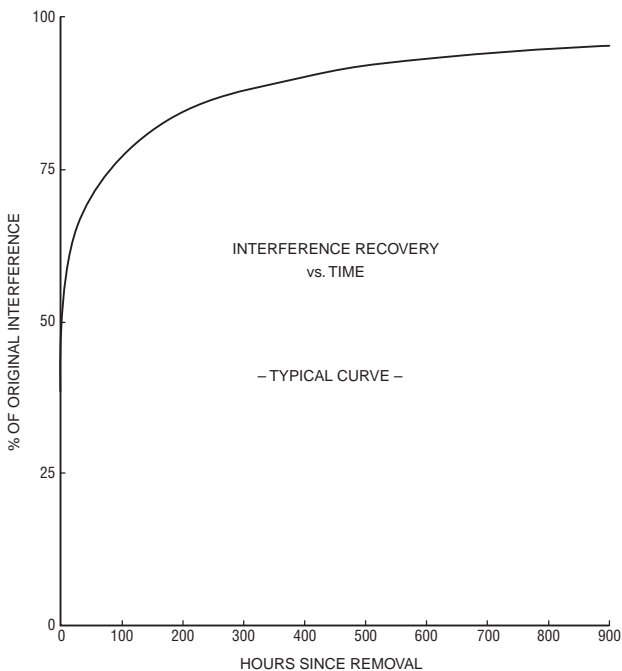


FIG. 16

La resistencia de Thordon al choque de carga y sus características no maleables son el resultado directo de la recuperación del elastómero o "memoria" según se ilustra en la Figura 16.

Los cojinetes elastómeros Thordon se contraen en su diámetro exterior e interior a medida que desciende la temperatura. Debido al coeficiente alto de expansión térmica (o contracción), comparado con el del metal, es necesario tener este factor en cuenta cuando el ambiente de operación cae por debajo de la temperatura ambiente. La temperatura ambiente (del taller) se supone que es de 21° C (70° F).

En los gráficos de interferencia (Figuras 17 y 18) se calculó la contracción bajo temperaturas frías para el XL y el SXL en incrementos de 10° C (18° F) para los tamaños métricos, y 20° F (11° C) para los tamaños imperiales, **en temperaturas inferiores a la temperatura ambiente del taller.**

Un bisel de entrada en el cojinete y/o una esquina redondeada en el alojamiento, facilitarán el ajuste a presión. La presión en fuerza por mm (pulgada) de cojinete se puede calcular de la siguiente manera:

$$F \text{ (kg)} = \frac{\text{interferencia (mm)} \times \text{espesor de pared (mm)} \times 211}{\text{calibre del alojamiento (mm)}}$$

$$F \text{ (lbs.)} = \frac{\text{interferencia (pulgadas)} \times \text{espesor de pared (pulgadas)} \times 300000}{\text{calibre del alojamiento (pulgadas)}}$$

Cuando se ajusta un cojinete Thordon en caliente, la selección de un agente de enfriamiento adecuado depende de la temperatura diferencial para la cual se ha diseñado el ajuste entre piezas del cojinete. (La temperatura diferencial es la diferencia entre la temperatura ambiente del taller, generalmente de 21° C (70° F) y la temperatura más fría a la cual se verá expuesto el cojinete instalado). Si el diferencial es de 40° C (100° F) o menor, entonces, generalmente se puede usar hielo seco. Si el diferencial es mayor que 40° C (100° F), se recomienda usar nitrógeno líquido. La cantidad de contracción esperada, se puede estimar usando la siguiente información:

Cada 10° F de disminución de temperatura resultará en una disminución aproximada del diámetro de 0.0008 pulgadas/pulgada de diámetro.

Cada 10° C de disminución de temperatura resultará en una disminución aproximada del diámetro de 0.0014 mm/mm de diámetro.

THORDON ELASTOMERIC PRODUCTS

HOUSING INTERFERENCE GRADE XL METRIC UNITS

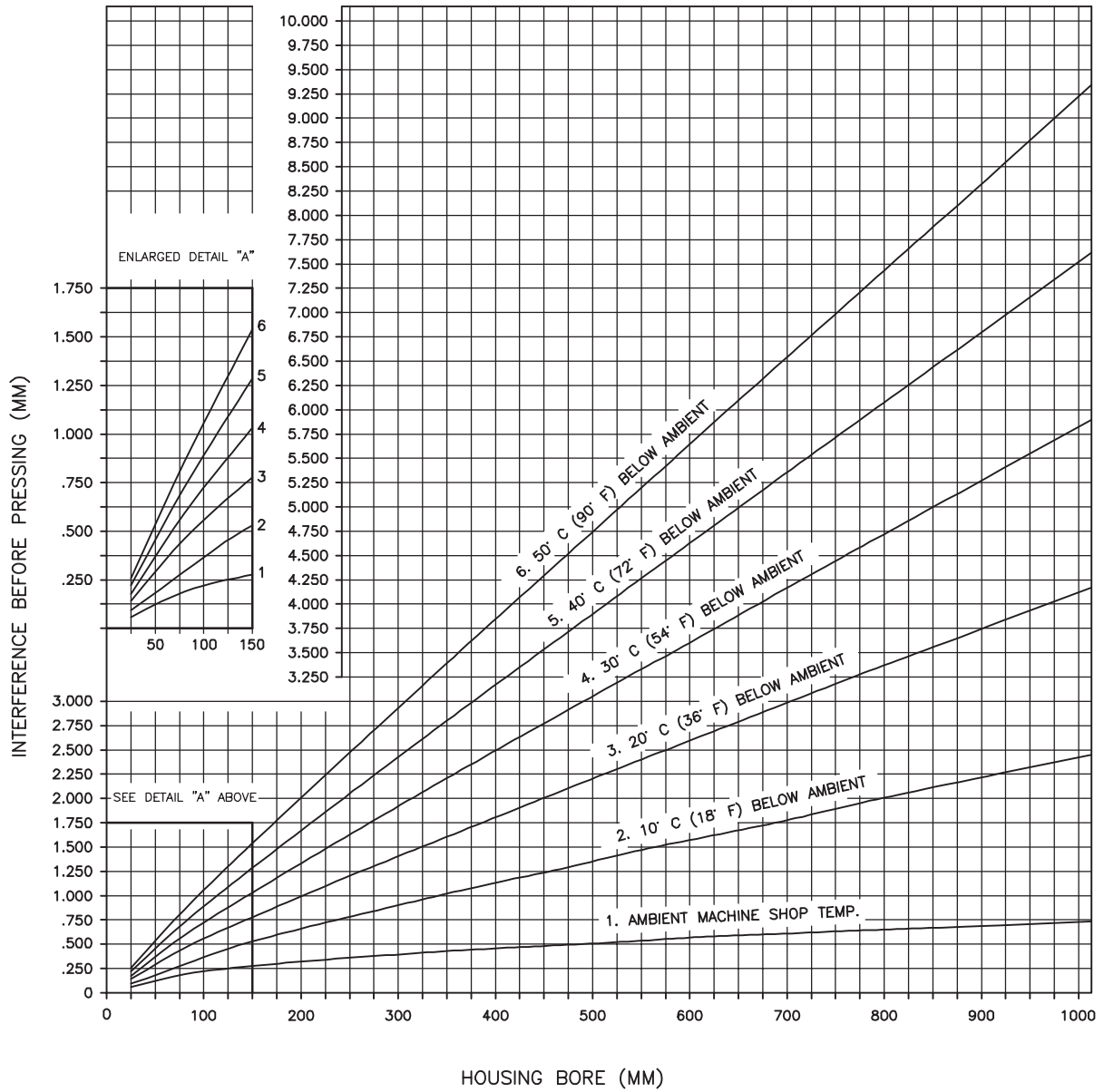


FIG. 17(a)

THORDON ELASTOMERIC PRODUCTS

HOUSING INTERFERENCE GRADE XL IMPERIAL UNITS

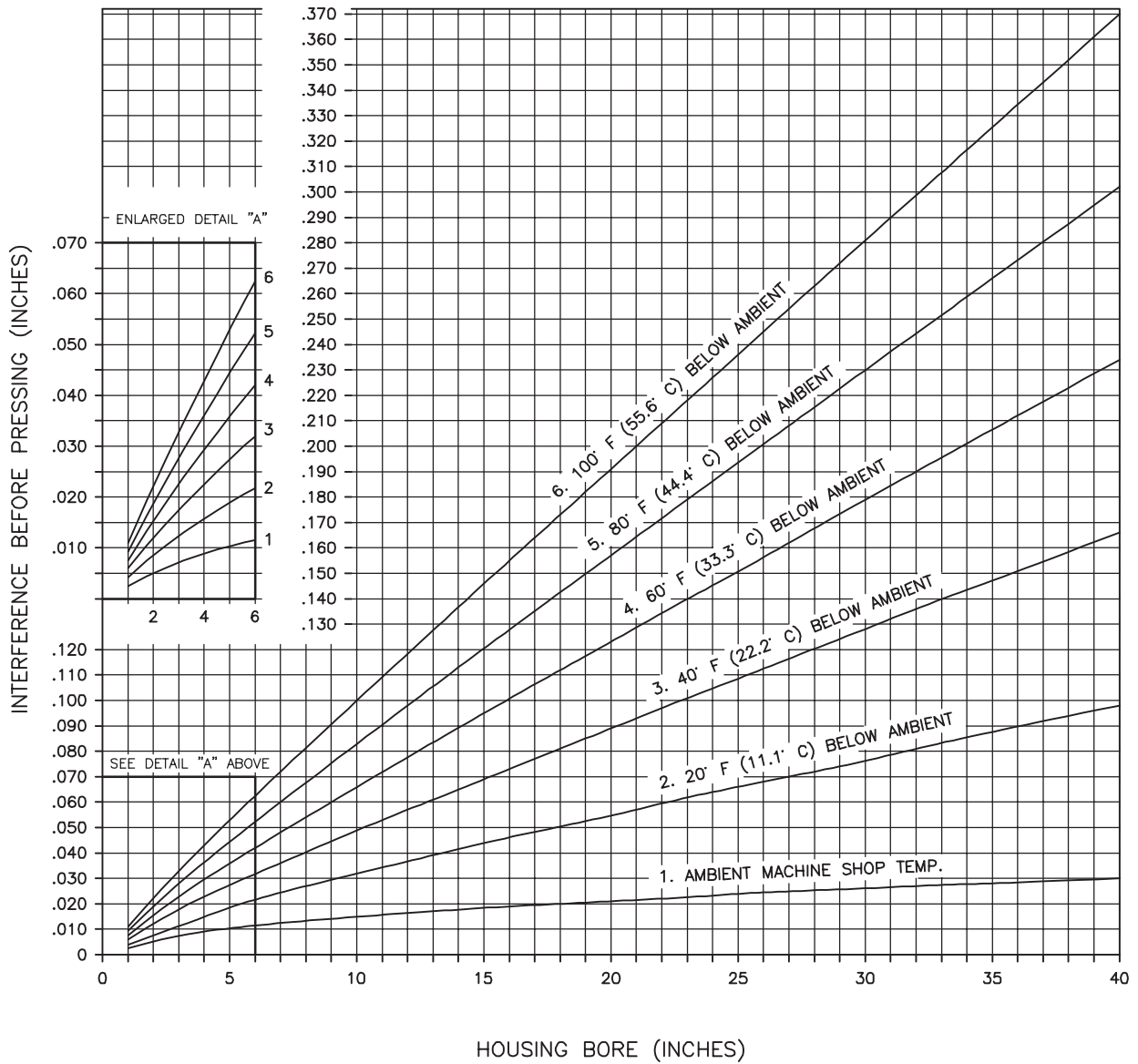


FIG. 17(b)

THORDON ELASTOMERIC PRODUCTS

HOUSING INTERFERENCE GRADE SXL METRIC UNITS

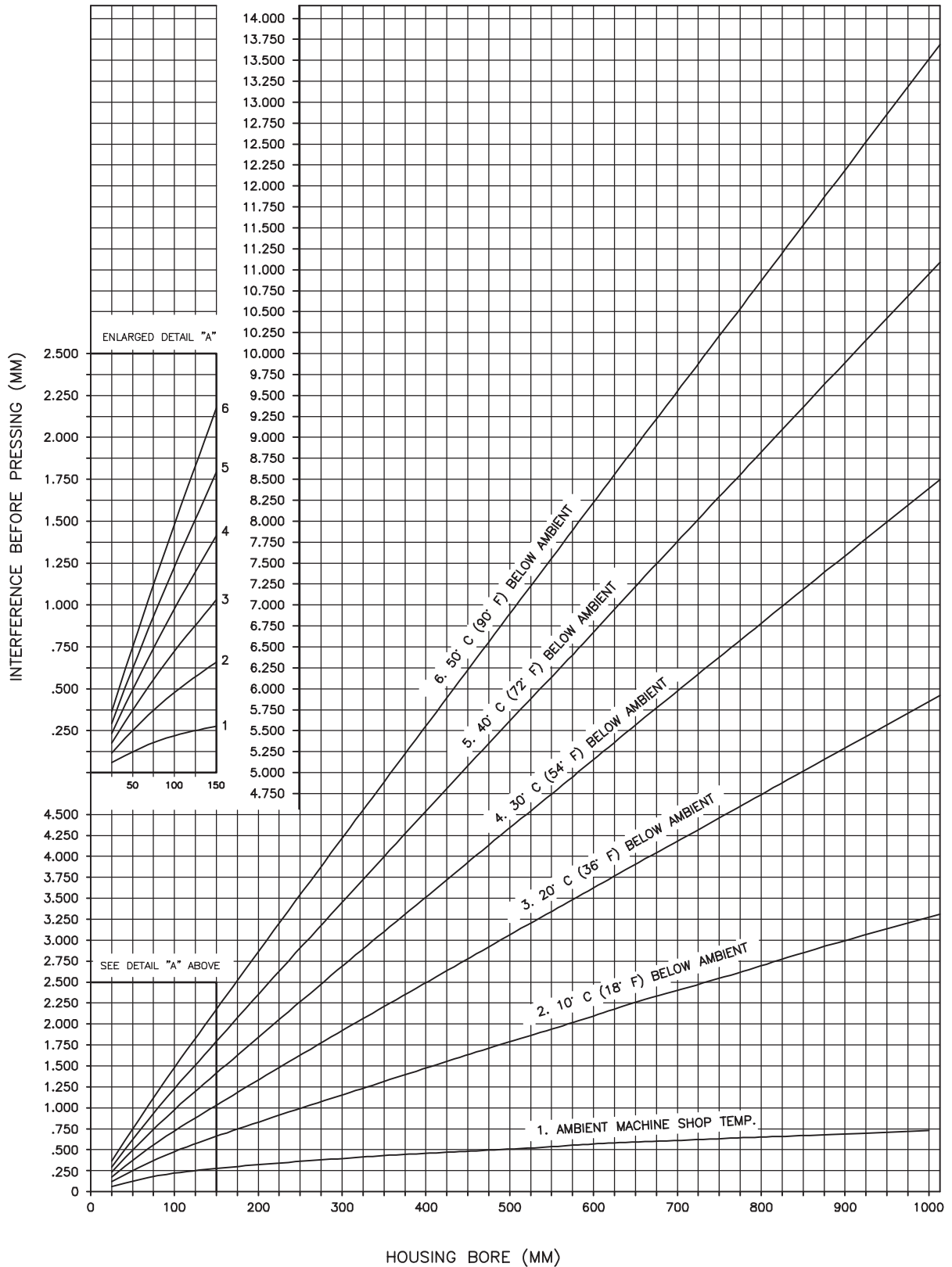


FIG. 18(a)

THORDON ELASTOMERIC PRODUCTS

HOUSING INTERFERENCE GRADE SXL IMPERIAL UNITS

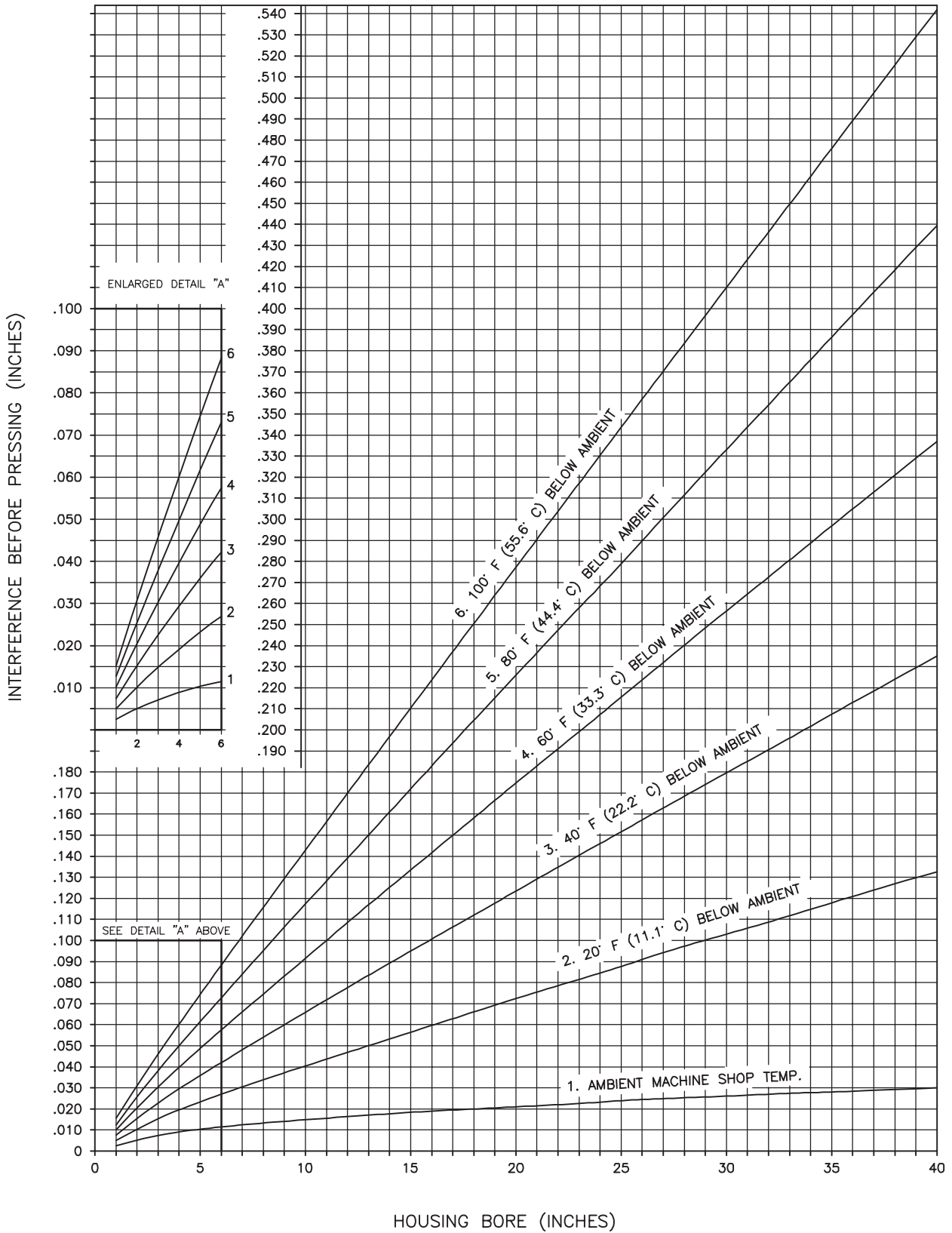


FIG. 18(b)

c) CIERRE DEL CALIBRE

Cuando se instala un cojinete Thordon con un ajuste entre piezas, el calibre se reduce debido al desplazamiento volumétrico. El valor real del cierre de calibre varía según el acabado de superficie del diámetro exterior del cojinete y el diámetro interior del alojamiento, que pueden afectar la compresión axial. También depende del coeficiente de fricción del material del cojinete. El Informe de Prueba 1163 de Thordon Bearings Inc. ha estudiado dos teorías detalladamente. La Teoría A no tiene en cuenta el movimiento axial en los cálculos y la Teoría B lo tiene en cuenta. Las pruebas han demostrado que la Teoría A es reservada en su estimación del cierre real del calibre, y por lo pronto

ofrece mayor juego de trabajo, al contrario de la Teoría B. Estos resultados se ilustran en la Figura 19.

Los resultados en el terreno son mixtos, y la mayoría se encuentra cerca de la Teoría A. Las Figuras 20 y 21 reflejan la Teoría A con un límite máximo del 145 para Thordon XL y Composite y 125 para el Thordon SXL y Compac. Si fuese necesario, se pueden desarrollar cifras más precisas con pruebas prácticas en una aplicación determinada.

El cierre del calibre se expresa como un porcentaje del máximo de interferencia.

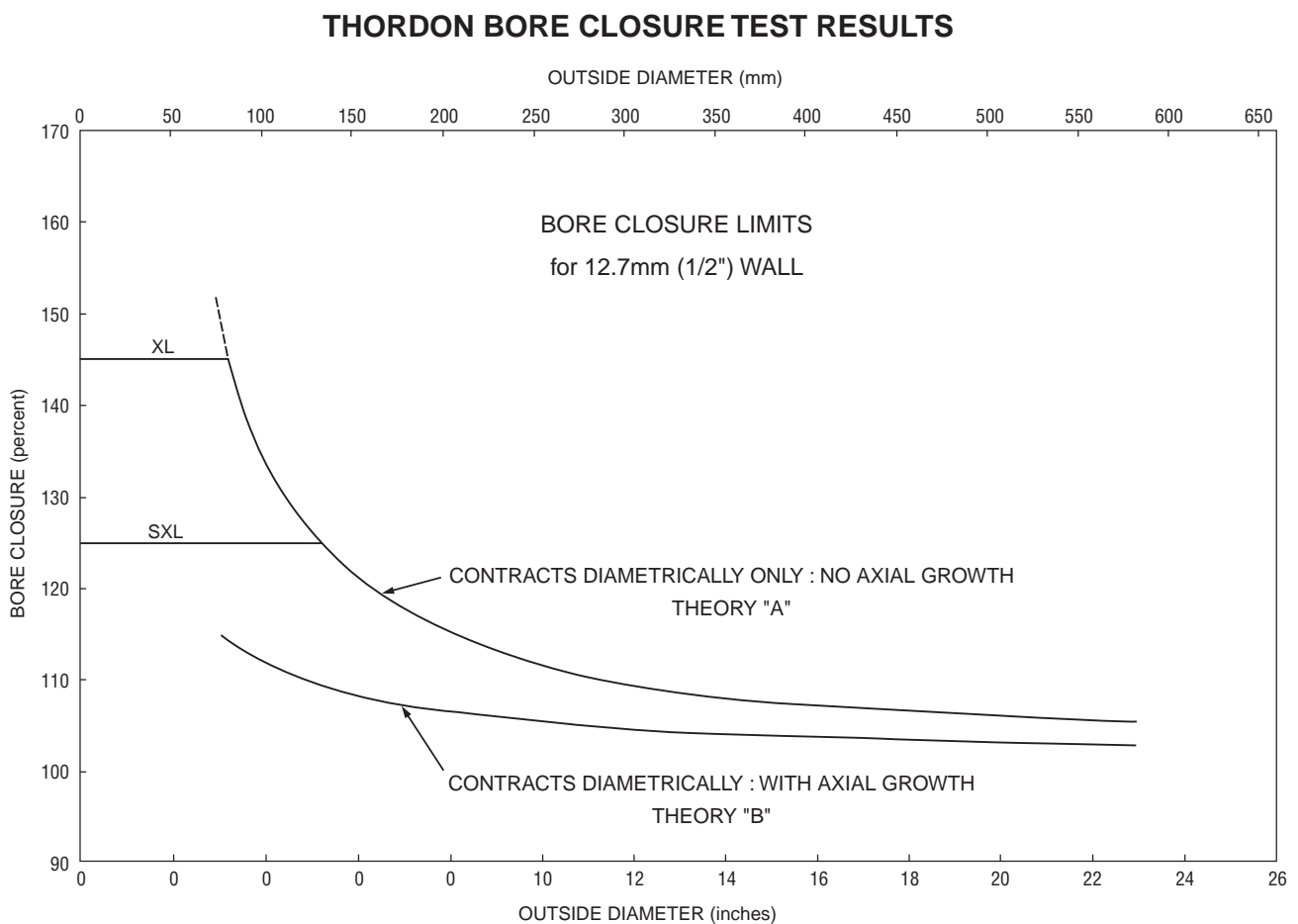
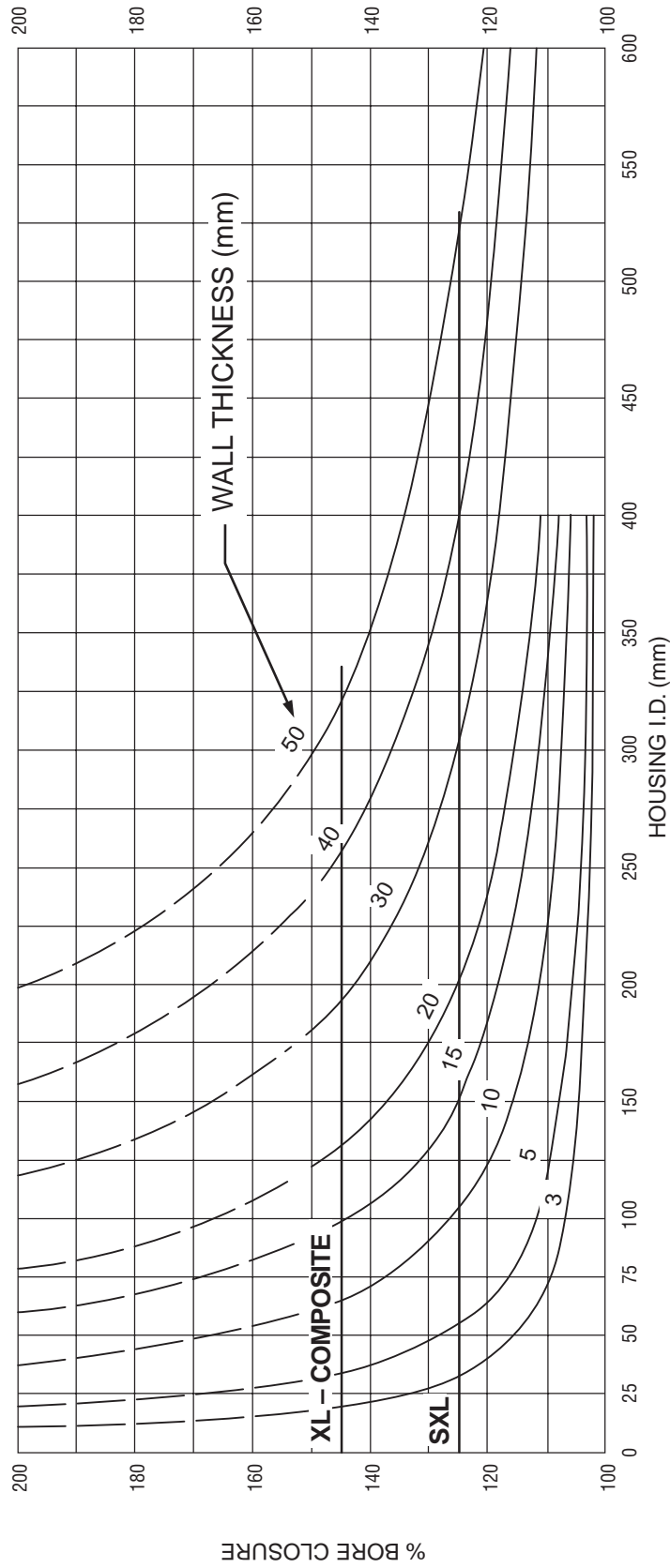


FIG. 19

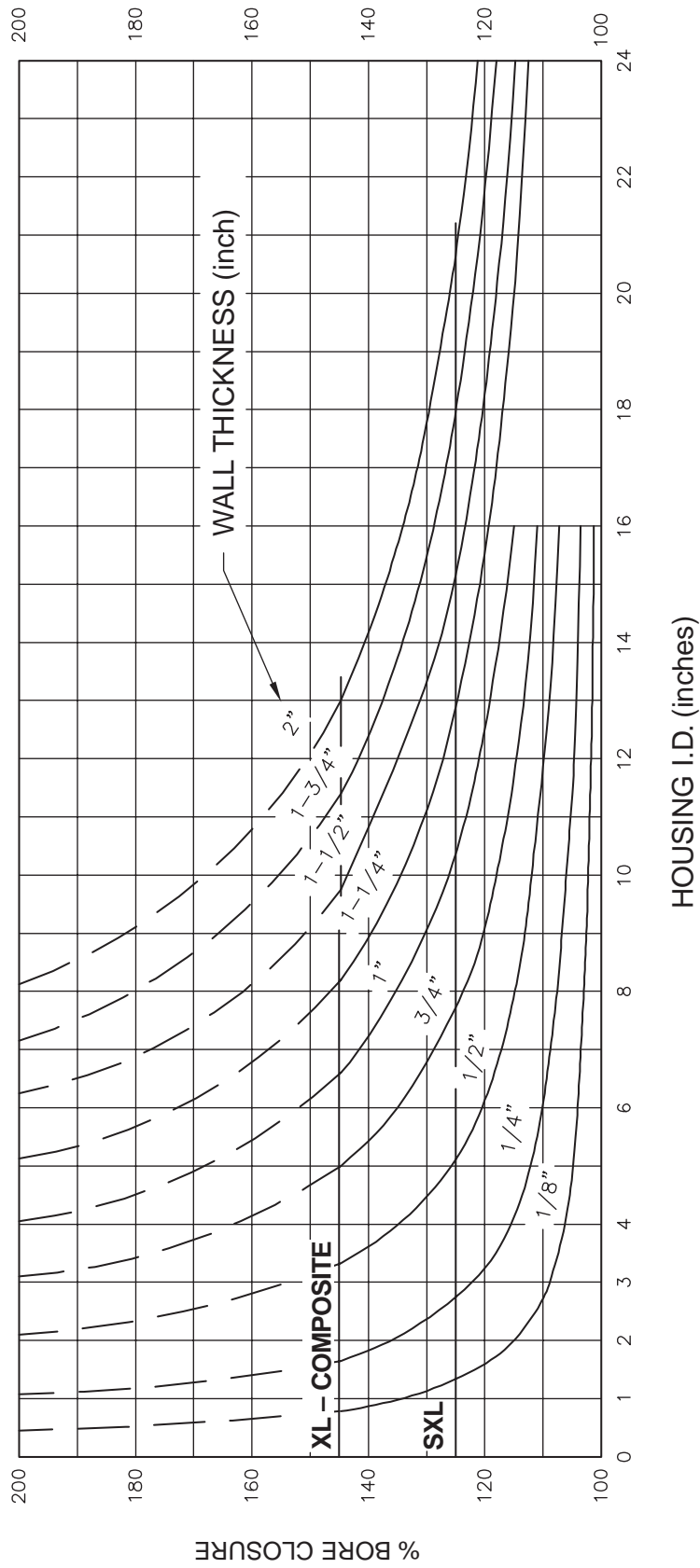
**PERCENTAGE BORE CLOSURE AGAINST HOUSING DIAMETER
FOR VARIOUS WALL THICKNESSES
METRIC**



NOTE: This graph has been limited for use up to a maximum of 125% bore closure for SXL, and a maximum of 145% bore closure for XL.

FIG. 20

**PERCENTAGE BORE CLOSURE AGAINST HOUSING DIAMETER
FOR VARIOUS WALL THICKNESSES
IMPERIAL**



NOTE: This graph has been limited for use up to a maximum of 125% bore closure for SXL, and a maximum of 145% bore closure for XL.

FIG. 21

APLICACIONES

d) JUEGO DE TRABAJO

Los juegos de trabajo recomendados para los cojinetes Thordon, así como para todo otro cojinete hecho de materiales no metálicos, son más generosos que los que se especifican para cojinetes metálicos.

El juego de trabajo es necesario para establecer una película de lubricante líquido satisfactoria. También incluye un margen de seguridad para compensar por la reducción del calibre como resultado del calor por rozamiento del cojinete durante la operación. Las Figuras 22 y 23 ilustran los requerimientos de juego de trabajo diametral para las aplicaciones industriales y marinas.

El juego diametral es la diferencia total en dimensión entre el diámetro interior final instalado del cojinete después de compensar por los efectos de la temperatura y de la absorción del agua, y el diámetro exterior del eje.

En aplicaciones de movimientos oscilantes, en donde no es probable que haya acumulación de calor, se pueden reducir los juegos de trabajo según lo ilustran las Figuras 22 y 23.

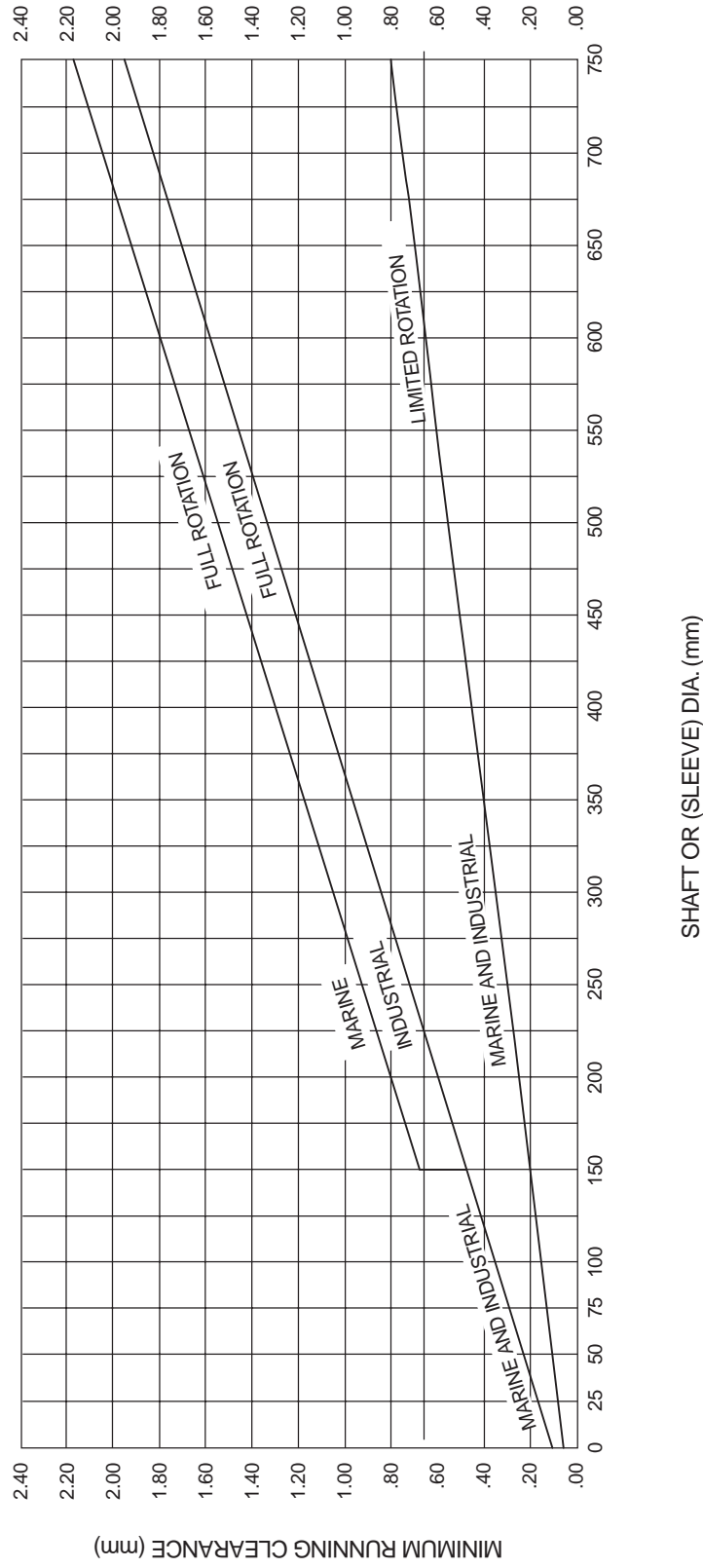
Juegos de trabajo inadecuados provocan fallas de los cojinetes que se caracterizan por un diámetro interior del cojinete “borroso” o “borrado”.

NOTA: En ciertas configuraciones como en bombas verticales e hidroturbinas es posible tener juegos de trabajo reducidos.

En estas configuraciones, se pueden diseñar cojinetes con juegos de trabajo entre 0.075% y 0.1% del diámetro del eje.

Es posible diseñar cojinetes con juegos de trabajo más estrechos. Comuníquese con el Departamento de Ingeniería de Thordon Bearings Inc. para obtener información más detallada al respecto.

MINIMUM RUNNING CLEARANCE FOR THORDON BEARINGS RELATED TO SHAFT DIAMETER METRIC

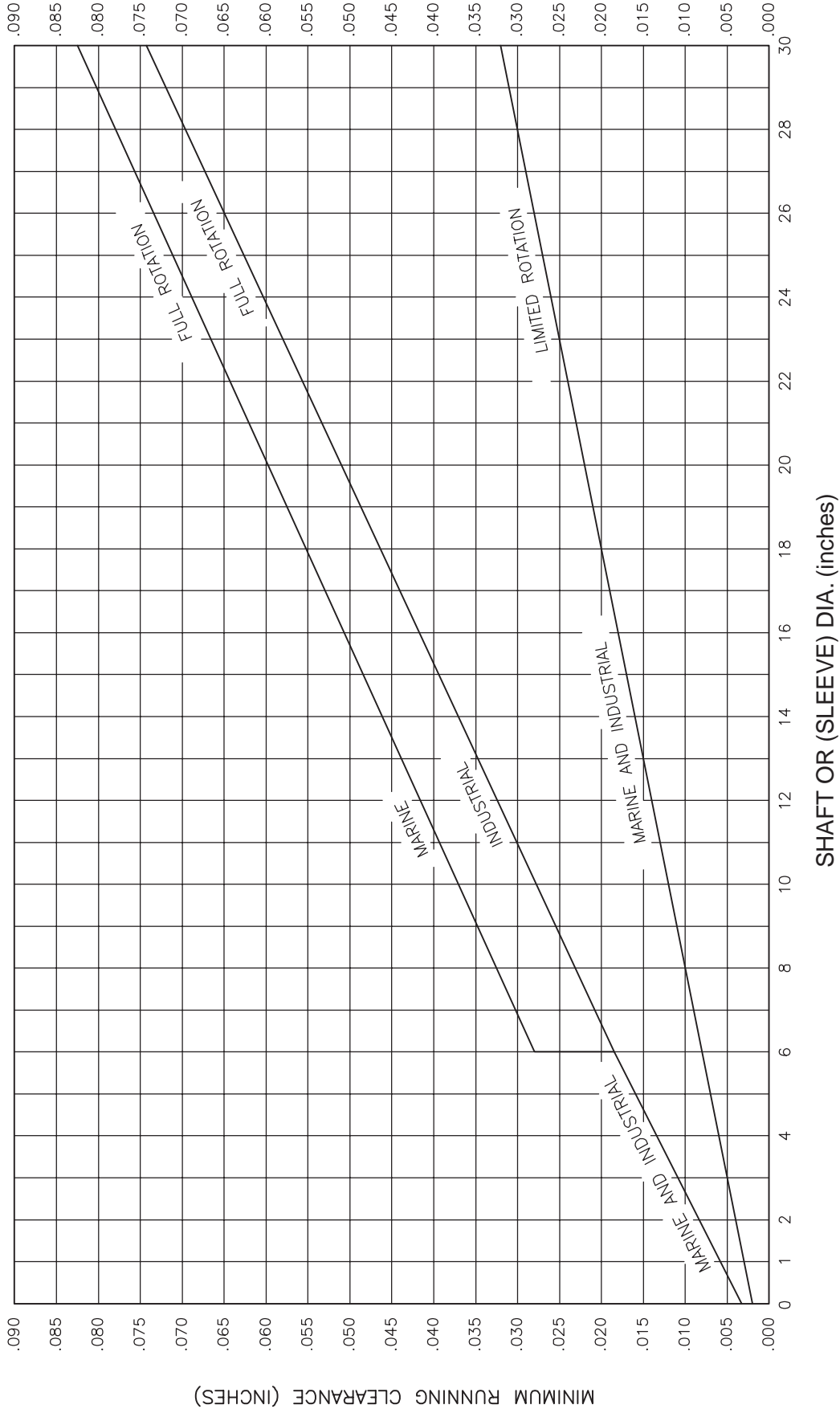


NOTE: Small bearing clearances reflect industrial standards. Larger marine bearings, 150mm and above are given greater clearance to reflect Class Society requirements.

NOTE: Where applicable, additional allowance must be made for thermal expansion and water swell. Refer to Steps 5/6 in Calculation Procedures.

FIG. 22

MINIMUM RUNNING CLEARANCE FOR THORDON BEARINGS RELATED TO SHAFT DIAMETER IMPERIAL



NOTE: Small bearing clearances reflect industrial standards. Larger marine bearings, 6" and above are given greater clearance to reflect Class Society requirements.

NOTE: When applicable, additional allowance must be made for thermal expansion and water swell. Refer to Steps 5/6 in Calculation Procedures.

FIG. 23

e) HUELGO POR EXPANSIÓN TÉRMICA

El huelgo por expansión térmica C_t es un juego adicional que se debe tener en cuenta cuando el cojinete va a funcionar a temperaturas superiores a la temperatura ambiente del taller. El C_t diametral se calcula en base al coeficiente de expansión térmica del Thordon usando la siguiente fórmula.

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

NOTA: La explicación de los símbolos usados se encuentra en la tapa frontal interior.

Este juego C_t se agrega al juego mínimo de trabajo determinado según la Figura 22 o 23.

En aplicaciones en donde el cojinete está sujeto desde el punto de vista axial y funciona a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, el huelgo por expansión térmica axial se calcula usando la siguiente fórmula:

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

NOTA: Cuando se establezca la longitud del cojinete, se deberá tener en cuenta el huelgo axial por expansión térmica. Si no se proporciona suficiente juego, el cojinete se extenderá de todas formas y desplazará los retenes del cojinete o, en lugar de extenderse desde el punto de vista axial, se extenderá diametralmente, reduciendo el juego de trabajo del cojinete. Esto puede provocar la falla del mismo.

f) HUELGO POR ABSORCIÓN DE AGUA

Thordon generalmente absorbe agua a una tasa de 1.3% por volumen, aunque en agua más caliente, la expansión por volumen puede alcanzar la tasa del 2%. Aunque esta expansión es considerablemente menor que la de la mayoría de los productos competitivos no metálicos, esta expansión se debe tener en cuenta ya que provoca una reducción del calibre y un pequeño aumento en el ajuste entre piezas.

El efecto diametral (cierre del calibre) del huelgo por absorción de agua C_s se calcula usando la siguiente fórmula:

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

en donde W.A.F. es el factor de absorción de agua leído de la Figura 24 para la temperatura máxima aproximada de operación.

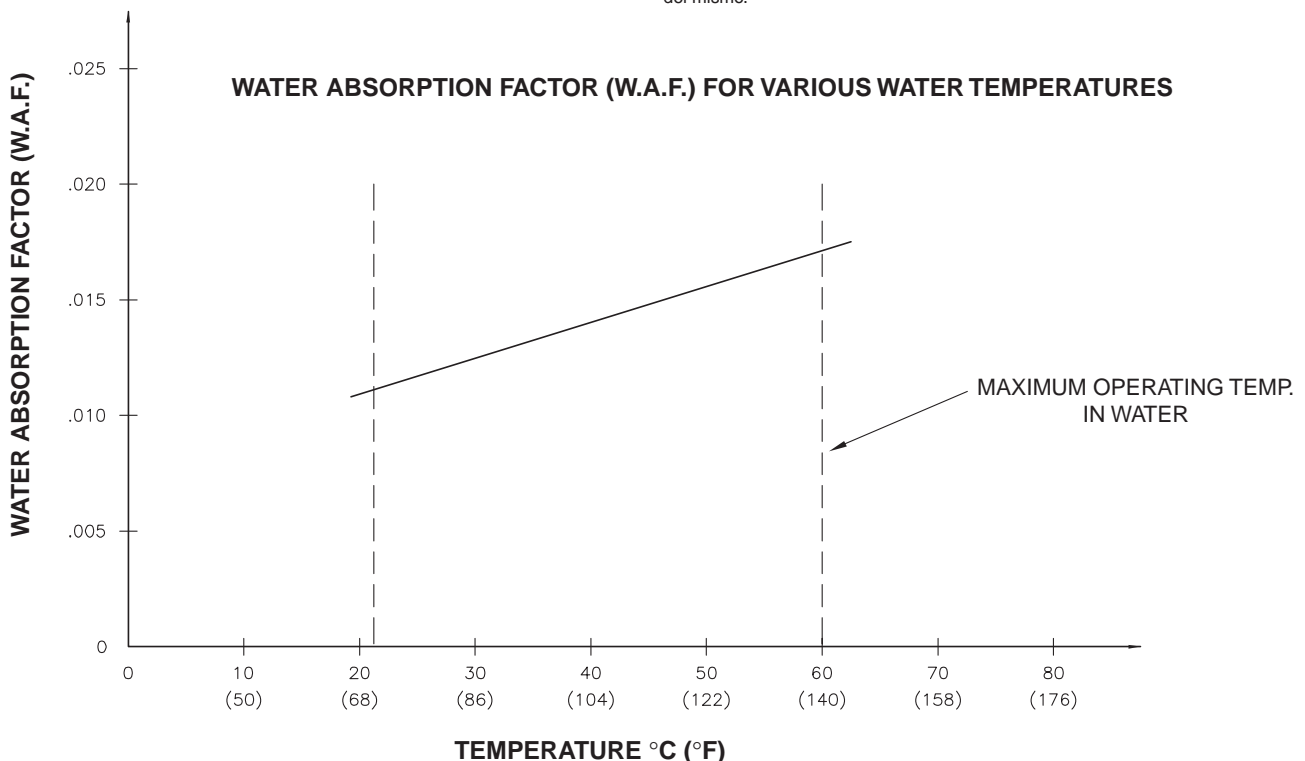
Por ejemplo, si la temperatura más alta de operación es de 21° C, el W.A.F. es 0.011.

Este juego se agrega al juego mínimo de trabajo de la Figura 22 o 23.

En aplicaciones en las que el cojinete funciona en agua con sujeción axial, se debe tener en cuenta el huelgo axial por absorción de agua. El huelgo axial por absorción de agua para un cojinete de ajuste entre piezas se calcula usando la siguiente fórmula.

$$C_s \text{ (axial)} = 0.005 \times \text{longitud del cojinete}$$

NOTA: Cuando se establezca la longitud del cojinete, se deberá tener en cuenta el huelgo axial por absorción de agua. Si no se proporciona suficiente juego, el cojinete se extenderá de todas formas y desplazará los retenes del cojinete o, en lugar de extenderse desde el punto de vista axial, se extenderá diametralmente, reduciendo el juego de trabajo del cojinete. Esto puede provocar la falla del mismo.



GRAPH DATA BASED ON TESTS AT 21°C (70°F) and 60°C (140°F)

FIG. 24

APLICACIONES

g) CÁLCULOS PASO A PASO

i) Ajuste a presión

Para un cojinete con ajuste a presión en un alojamiento, se deberán seguir los siguientes pasos para garantizar un dimensionamiento correcto.

Paso 1: Se determina la interferencia en las Figuras 17 (a) y (b) y 18 (a) y (b) y se agrega al diámetro máximo del alojamiento para obtener el diámetro exterior mínimo del cojinete. Las temperaturas inferiores a la temperatura ambiente del taller se determinan directamente en las Figuras 17 (a) y (b) y 18 (a) y (b) usando la curva correspondiente para la cantidad de grados por debajo de la temperatura ambiente.

Paso 2: El porcentaje de cierre de calibre determinado en las Figuras 20 o 21 se multiplica por la interferencia promedio (interferencia mínima más el 50% de tolerancia del alojamiento y 50% de tolerancia de maquinado en el diámetro exterior del cojinete) para obtener el huelgo de cierre del calibre.

Paso 3: El juego de trabajo se determina en las Figuras 22 y 23.

Paso 4: Si el cojinete está sometido a temperaturas superiores a la temperatura ambiente, se agrega el huelgo por expansión térmica.

Paso 5: El factor de absorción de agua se determina en la Figura 24 y se multiplica por el espesor de la pared (si corresponde).

Paso 6: El diámetro interior se determina sumando el huelgo por el cierre del calibre, el juego de trabajo, el huelgo por temperatura (si corresponde) y el huelgo por absorción de agua (si corresponde) al diámetro máximo del eje.

ii) Ajuste por adherencia

Para una aplicación que requiere un cojinete Thordon adherido al alojamiento, se deberán realizar los siguientes pasos.

Paso 1: El diámetro exterior del cojinete debe tener un juego de 0.25 mm (0.010") a 0.50 mm (0.020") con el alojamiento para proporcionar una película adhesiva.

Paso 2: El juego de trabajo se determina en las Figuras 22 y 23.

Paso 3: El huelgo por expansión térmica se calcula si es necesario.

Paso 4: El factor de absorción de agua se determina en la Figura 24 y se multiplica por el espesor de pared (si corresponde).

Paso 5: El diámetro interior del cojinete se determina sumando el huelgo por el cierre del calibre, el juego de trabajo, el huelgo por temperatura (si corresponde) y el huelgo por absorción de agua (si corresponde) al diámetro máximo del eje.

h) EJEMPLOS DE CÁLCULO

EJEMPLO 1 - MÉTRICO

AJUSTE: A PRESIÓN

MATERIAL: XL

Datos:

1. Tipo de operación	Tubo de eje de hélice marina
2. Alojamiento del cojinete	Diámetro interior 150 mm ± 0.08 mm
3. Diámetro del eje	Diámetro exterior 100 mm + 0.00 / - 0.13 mm
4. Temperatura de operación	Mín. 10° C Máx. 30° C
5. Temperatura ambiente	21° C
6. Entorno	Agua

Diámetro exterior

Paso 1

Interferencia para un cojinete de 150 mm de diámetro funcionando a 11° C por debajo de la temperatura ambiente de la Figura 17 (a).

$$= 0.55 \text{ mm}$$

Paso 1-1

Diámetro exterior del cojinete

$$= \text{Máximo del alojamiento} + \text{interferencia}$$

$$= 150.08 + 0.55$$

$$= 150.63 \text{ mm}$$

Con tolerancia de maquinado estándar.

$$\therefore \text{OD del cojinete} = 150.63 + 0.13/-0.00$$

Diámetro interior

Paso 2

Porcentaje de cierre del calibre de la Figura 20 = 145%
Cierre de calibre real:

Interferencia promedio = Interferencia (Paso 1.1) + 50% del alojamiento y tolerancia del OD del cojinete.

$$= 0.55 + \frac{(0.16 + 0.13)}{2} = 0.70 \text{ mm}$$

$$\therefore \text{Cierre de calibre real es } 0.70 \times \frac{145}{100} = 1.02 \text{ mm}$$

Paso 3

Juego de trabajo básico para

eje de 100 mm de la Figura 22 = 0.36 mm

Paso 4

Expansión térmica $C_t = 2 \text{ W.T. } \alpha (T_o - T_a)$

$$C_t = \frac{2 \times 25 \times 14.8 \times 9}{100,000} = 0.07 \text{ mm}$$

Paso 5

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

$$C_s = 0.0125 \times 25 = 0.31 \text{ mm}$$

$$\text{Huelgo total} = \text{Pasos 2} + \text{3} + \text{4} + \text{5} = 1.76 \text{ mm}$$

Paso 6

Diámetro interior del cojinete

$$= \text{diámetro del eje} + \text{huelgo total del diámetro interior}$$

$$= 100 + 1.76 \text{ mm}$$

$$= 101.76 \text{ mm}$$

con tolerancia de maquinado estándar

$$\therefore \text{ID del cojinete} = 101.76 + 0.13/-0.00 \text{ mm}$$

EJEMPLO 1 - IMPERIAL

AJUSTE: A PRESIÓN MATERIAL: XL

Datos:

1. Tipo de operación	Tubo de eje de hélice marina
2. Alojamiento del cojinete	Diámetro interior 6" ± 0.0003"
3. Diámetro del eje	Diámetro exterior 4" + 0.000" / - 0.005"
4. Temperatura de operación	Mín. 50° F Máx. 86° F
5. Temperatura ambiente	70° F
6. Entorno	Agua

Diámetro exterior

Paso 1

Interferencia para un cojinete de 6" de diámetro funcionando a 20° F por debajo de la temperatura ambiente de la Figura 17 (b).

$$= 0.022"$$

Paso 1-1

Diámetro exterior del cojinete
 = Máximo del alojamiento + interferencia
 = 6.003" + 0.022"
 = 6.025"

Con tolerancia de maquinado estándar.

$$\therefore \text{OD del cojinete} = 6.025" + 0.005 / - 0.000$$

Diámetro interior

Paso 2

Porcentaje de cierre del calibre de la Figura 21 = 145%
 Cierre de calibre real:

Interferencia promedio = Interferencia (Paso 1.1) + 50% del alojamiento y tolerancia del OD del cojinete.

$$= 0.022 + \frac{(0.006 + 0.005)}{2} = 0.0275"$$

$$\therefore \text{Cierre de calibre real es } 0.027" \times \frac{145}{100} = 0.040"$$

Paso 3

Juego de trabajo básico para eje de 4" de la Figura 23 = 0.013"

Paso 4

Expansión térmica $C_t = 2 \text{ W.T.} \alpha (T_o - T_a)$

$$C_t = \frac{2 \times 1 \times 8.2 \times 16}{100.000} = 0.003"$$

Paso 5

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

$$C_s = 0.0125 \times 1" = 0.013"$$

$$\text{Huelgo total} = \text{Pasos 2} + 3 + 4 + 5 = 0.069"$$

Paso 6

Diámetro interior del cojinete
 = diámetro del eje + huelgo total del diámetro interior
 = 4" + 0.069"
 = 4.069"

con tolerancia de maquinado estándar

$$\therefore \text{ID del cojinete} = 4.069" + 0.005" / -0.000$$

EJEMPLO 2 - MÉTRICO

AJUSTE: POR ADHERENCIA MATERIAL: XL

Datos:

1. Tipo de operación	Tubo de eje de hélice marina
2. Alojamiento del cojinete	Diámetro interior 150 mm ± 0.08 mm
3. Diámetro del eje	Diámetro exterior 100 mm + 0.00 / - 0.13 mm
4. Temperatura de operación	Mín. 10° C Máx. 30° C
5. Temperatura ambiente	21° C
6. Entorno	Agua

Diámetro exterior

Paso 1

Diámetro mínimo del alojamiento = 149.92 mm

Huelgo por espesor de adherencia = 0.26 mm a 0.52 mm

Diámetro interior

Paso 2

Juego de trabajo básico para eje de 100 mm de la Figura 22 = 0.36 mm

Paso 3

Expansión térmica

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

$$C_t = \frac{2 \times 25 \times 14.8 \times 9}{100.000} = 0.07 \text{ mm}$$

Paso 4

Absorción de agua

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

$$C_s = 0.0125 \times 25 = 0.31 \text{ mm}$$

$$\text{Huelgo total} = \text{Pasos 2} + 3 + 4 = 0.74 \text{ mm}$$

Paso 5

Diámetro interior del cojinete
 = diámetro del eje + huelgo total del diámetro interior
 = 100 + 0.74 mm
 = 100.74 mm

con tolerancia de maquinado estándar

$$\therefore \text{ID del cojinete} = 100.74 + 0.13 / - 0.00 \text{ mm}$$

NOTA:

- Los cálculos para cojinetes en aplicaciones con rotación limitada son los mismos que arriba, a excepción de una disminución en el juego de trabajo requerido en el Paso 3, según se ilustra en la Figura 22 o 23.
- Si el cojinete no está sumergido en el agua, no se necesita el huelgo por absorción de agua calculado en el Paso 5.
- Para minimizar la tolerancia incorporada en el juego de trabajo instalado de un cojinete con ajuste a presión o por adherencia, se puede, si es práctico, maquinar el cojinete después de haberlo instalado en el alojamiento.

APLICACIONES

EJEMPLO 2 - IMPERIAL

AJUSTE: POR ADHERENCIA MATERIAL: XL

Datos:

1. Tipo de operación	Tubo de eje de hélice marina
2. Alojamiento del cojinete	Diámetro interior 6" ± 0.003"
3. Diámetro del eje	Diámetro exterior 4" + 0.000" / - 0.005"
4. Temperatura de operación	Mín. 50° F Máx. 86° F
5. Temperatura ambiente	70° F
6. Entorno	Agua

Diámetro exterior

Paso 1

Diámetro mínimo del alojamiento = 5.997"

Huelgo por espesor de adherencia = 0.10" a 0.020"

$$\therefore \text{OD del cojinete} = 5.987" / 5.977"$$

Diámetro interior

Paso 2

Juego de trabajo básico para eje de 4" de la Figura 23 = 0.013"

Paso 3

Expansión térmica

$$C_t = 2 \text{ W.T. } \alpha (T_o - T_a)$$
$$C_t = \frac{2 \times 1 \times 8.2 \times 16}{100.000} = 0.003"$$

Paso 4

Absorción de agua

$$C_s = 0.0125 \times \text{espesor de pared}$$
$$C_s = 0.0125 \times 1" = 0.013"$$

Huelgo total = Pasos 2 + 3 + 4 = 0.029"

Paso 5

Diámetro interior del cojinete
= diámetro del eje + huelgo total del diámetro interior
= 4" + 0.029"
= 4.029"

con tolerancia de maquinado estándar

$$\therefore \text{ID del cojinete} = 4.069" + 0.005" / -0.000$$

NOTA:

- Los cálculos para cojinetes en aplicaciones con rotación limitada son los mismos que arriba, a excepción de una disminución en el juego de trabajo requerido en el Paso 3, según se ilustra en la Figura 22 o 23.
- Si el cojinete no está sumergido en el agua, no se necesita el huelgo por absorción de agua calculado en el Paso 5.
- Para minimizar la tolerancia incorporada en el juego de trabajo instalado de un cojinete con ajuste a presión o por adherencia, se puede, si es práctico, maquinar el cojinete después de haberlo instalado en el alojamiento.

i) CÁLCULOS DE COJINETES CON CHAVETA

Los cojinetes Thordon se instalan a menudo con un ajuste entre piezas y un par de llaves de enclavamiento.

A fin de determinar el tamaño de los cojinetes Thordon y el ancho de la brecha de separación, para obtener la interferencia correcta en una aplicación de cojinete con chaveta, se debe seguir el siguiente procedimiento.

1. Calcular las dimensiones del cojinete en base a un ajuste entre piezas (**interferencia**).

Los cálculos se pueden hacer en forma escalonada según se indica en la sección 5 (g) de este manual, o usando el programa de cálculo por computadora de Thordon.

2. Anotar el factor de cierre de calibre que se usó en los cálculos precedentes. Esta variable se indica en una impresión del programa de cálculo.
3. Maquinar el diámetro exterior del cojinete al **mismo** diámetro que el diámetro interior del alojamiento. Las tolerancias permitidas son + 0.13 / - 0.00 mm (+ 0.005 / - 0.000").
4. El diámetro interior del cojinete se debe maquinar de la siguiente manera:

Diámetro interior del cojinete =

Diámetro máximo del eje + juego mínimo instalado + (factor de cierre del calibre - 1.0) x (interferencia del paso 1).

NOTA: Si se debe horadar el cojinete en línea después de la instalación, el diámetro interior del cojinete deberá ser el siguiente:

Diámetro interior del cojinete =

Diámetro máximo del eje + juego mínimo instalado.

5. El ancho de la brecha de separación (basado en dos llaves) se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Ancho de la brecha} = \text{ancho de la llave} = \frac{[(\text{interferencia del paso 1}) \times \pi] / 2}$$

Este ancho de brecha resultará en un ajuste correcto entre piezas para el cojinete después de su ensamblaje.

j) CÁLCULOS POR COMPUTADORA

Se dispone de un programa de computación para calcular el tamaño de los cojinetes Thordon. Éste tiene en cuenta todos los factores cubiertos en la sección de diseño según la aplicación de este manual y simplifica considerablemente el proceso de cálculo. El programa se puede obtener a través de su distribuidor Thordon o de Thordon Bearings Inc.

NOTA: Los valores calculados por medio del programa de cálculo por computadora pueden diferir ligeramente de aquellos calculados usando este manual debido a las diferencias ocasionadas por las inexactitudes en la lectura de los valores de los gráficos, etc. Los valores obtenidos usando el programa de cálculo son los valores según los cuales se deberá maquinar el cojinete.

k) COJINETES DE ALTA PRESIÓN

Los cojinetes de alta presión Thordon se especifican para muchas aplicaciones industriales y marinas. Los cojinetes de alta presión se adaptan en forma excelente a aplicaciones en donde las cargas son altas y no se emplea lubricación convencional.

Algunas aplicaciones típicas incluyen compuertas y enlaces de regulación hidroeléctrica, soportes para compuertas de esclusa, rodillos de popa, grúas y puntos pivotantes en equipos de construcción.

Los cojinetes de alta presión Thordon son de un diseño compuesto que consiste en un casco metálico con un revestimiento interior delgado de Thordon - generalmente de calidad SXL.

Según se indica en la sección sobre la Selección en la página 25, es posible obtener presiones de operación de hasta 55.0 MPa (8000 psi) con presiones estáticas pico de hasta 69.0 MPa (10,000 psi) o mayores.

Estos índices de presión se obtienen a través de una combinación de varios factores. Las aplicaciones son oscilantes o de operación a velocidades muy bajas de manera que la acumulación de calor por rozamiento no es una consideración.

El cojinete se diseña con un factor de forma muy elevado (generalmente superior a 100) lo cual significa que el espesor de la pared del cojinete es muy delgado (generalmente 1.5 mm (0.060") o menor).

Se obtienen resultados óptimos con el diseño Thordon Traxl que tiene un diseño y proceso especial en el cual el SXL se polimeriza directamente en un casco metálico especialmente estriado. Este caso, que cuenta con un revestimiento interior Thordon, se ajusta a presión en el alojamiento del cojinete. En aplicaciones a baja presión se puede adherir un tubo Thordon de pared delgada o una cinta Thor-Tape en un casco por adherencia en frío. La gama de presión para cada método se ilustra en el siguiente cuadro.

MÉTODO DE FABRICACIÓN	PRESIÓN			
	OPERACIÓN NORMAL		ESTÁTICA PICO	
	MPa	psi	MPa	Psi
TRAXL	27.5 – 55.0	4,000 – 8,000	70.0 – 10,000	
ADHERENCIA EN FRÍO	13.7 – 20.6	2,000 – 3,000	27.5 – 4,000	

CUADRO 3

NOTA: Los cojinetes Thordon han sido diseñados para operar a presiones más altas para aplicaciones específicas. Sírvase comunicarse con el Departamento de Ingeniería de Thordon Bearings Inc. para obtener información detallada.

El proceso de adherencia se usa cuando la aplicación requiere una combinación de capacidad para alta presión y un mayor espesor de pared (mayor de 1.5 mm - 0.060"). El índice de presión disminuye sin embargo, a medida que aumenta el espesor debido a la disminución del factor de forma.

Se pueden obtener juegos de trabajo mucho más estrechos con los cojinetes de alta presión, comparado con los cojinetes de camisa Thordon. Varios factores contribuyen a esta situación:

Todo el maquinado se realiza después de polimerizar o adherir el Thordon al casco del cojinete.

Debido al casco metálico rígido, y el apoyo que le proporciona al Thordon, tanto el diámetro exterior como el interior se pueden maquinar según tolerancias más estrechas.

El juego de trabajo de diseño disminuye dado que la rotación es limitada (la acumulación de calor por rozamiento no es un problema). Además, debido al espesor delgado de la pared, los huelgos por expansión térmica y absorción del agua no son importantes.

Se deben considerar los siguientes parámetros de diseño en el diseño de una aplicación de cojinete de alta presión Thordon:

- Interferencia
- Cierre de calibre
- Juego de trabajo
- Dimensiones del alojamiento y del eje
- Dimensionamiento y tolerancias del cojinete

NOTA: Se supone que el huelgo por absorción de agua y por expansión térmica son generalmente insignificantes porque el espesor de la pared del Thordon en un cojinete de alta presión es generalmente 1.5 mm (0.060") o menor.

i) Interferencia:

La cantidad de interferencia entre el cojinete de alta presión Thordon y el alojamiento depende de las condiciones de operación. A medida que aumenta la presión también aumenta la interferencia. El ajuste entre piezas (interferencia) normal recomendado se encuentra en el rango de 0.025% a 0.100% del diámetro exterior con presiones de operación entre 13.7 y 55.4 MPa (2000 y 8000 psi).

Se usa un valor de diámetro exterior de 0.050 a 0.060% en la mayoría de las aplicaciones.

ii) Cierre de calibre:

En base a la experiencia práctica, el cierre de calibre en un ajuste entre dos piezas metálicas es generalmente entre 75 y 95% de la interferencia. Para garantizar un juego de trabajo adecuado, se recomienda estimar un cierre de calibre del 100% para fines de cálculo.

APLICACIONES

iii) Juego de trabajo

El juego normal de trabajo recomendado es de 0.1% del diámetro del eje con una recomendación mínima de 0.08 mm (0.003").

En aplicaciones en las que se requieren tolerancias más estrechas, sírvase comunicarse con su distribuidor Thordon o con Thordon Bearings Inc. para obtener más información al respecto.

iv) Dimensiones del alojamiento y del eje

Para obtener el juego de trabajo instalado óptimo, es necesario controlar estrictamente las tolerancias no sólo del cojinete sino también del alojamiento y del eje. Tolerancias excesivas en el calibre del alojamiento o en el eje, se convierten directamente en requerimientos de juego de trabajo adicionales.

v) dimensionamiento y tolerancias de los cojinetes:

El diámetro exterior e interior de un cojinete de alta presión Thordon se calculan de la siguiente manera:

Diámetro exterior del cojinete
= diámetro del alojamiento (máximo) + interferencia normal

Diámetro interior del cojinete
= diámetro del eje (máximo) + interferencia máxima (máximo diámetro exterior del cojinete - diámetro mínimo del cojinete) + juego de trabajo

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

Diámetro exterior: + 0.025 mm / - 0.000 mm
(+ 0.001" / - 0.000")

Diámetro interior: + 0.075 mm / - 0.000 mm
(+ 0.003" / - 0.000")

EJEMPLO 3 - MÉTRICO TRAXL

AJUSTE: A PRESIÓN MATERIAL: TRAXL

Datos:

1. Tipo de operación	Compuerta de regulación de hidroturbina
2. Alojamiento del cojinete	175 mm + 0.08 mm / - 0.00 mm
3. Diámetro del eje	150 mm + 0.00 / - 0.13 mm

Diámetro exterior

Paso 1

Interferencia requerida = 0.055% del diámetro máximo exterior

$$= \frac{0.055}{100} \times 175.08 = 0.10 \text{ mm}$$

Paso 1-1

Diámetro exterior del cojinete
= Máximo del alojamiento + interferencia
= 175.08 + 0.10
= 175.18 mm

con tolerancia de maquinado estándar.

$$\therefore \text{OD del cojinete} = 175.18 \text{ mm} + 0.025 / - 0.000 \text{ mm}$$

Paso 2

Cierre del calibre = 100% de la interferencia máxima
= 175.205 - 175.0 = 0.205 mm

Paso 3

Juego de trabajo = 0.1% del diámetro del eje
= $\frac{0.1}{100} \times 150 = 0.15 \text{ mm}$

Paso 4

Diámetro interior del cojinete
= diámetro máximo del eje + (diámetro exterior máximo del cojinete - diámetro mínimo del alojamiento) + juego de trabajo
= 150 + (175.205 - 175.0) + 0.15 = 150.355 mm

con tolerancia de maquinado estándar

$$\therefore \text{ID del cojinete} = 150.355 \text{ mm} + 0.075 / - 0.000 \text{ mm}$$

EJEMPLO 3 - IMPERIAL TRAXL

AJUSTE: A PRESIÓN

MATERIAL: TRAXL

Datos:

1. Tipo de operación	Compuerta de regulación de hidroturbina
2. Alojamiento del cojinete	7" + 0.001" / - 0.000"
3. Diámetro del eje	6" + 0.000" / - 0.002"

Diámetro exterior

Paso 1

Interferencia requerida = 0.055% del diámetro máximo exterior

$$= \frac{0.055}{100} \times 7.000 = 0.004"$$

Paso 1-1

Diámetro exterior del cojinete
= Máximo del alojamiento + interferencia
= 7.001" + 0.004"
= 7.006"

con tolerancia de maquinado estándar.

$$\therefore \text{OD del cojinete} = 7.005" + 0.001 / - 0.000$$

Paso 2

Cierre del calibre = 100% de la interferencia máxima
= 7.006" - 7.000" = 0.006"

Paso 3

Juego de trabajo = 0.1% del diámetro del eje
= $\frac{0.1}{100} \times 6.000 = 0.006"$

Paso 4

Diámetro interior del cojinete
= diámetro máximo del eje + (diámetro exterior máximo del cojinete - diámetro mínimo del alojamiento) + juego de trabajo
= 6.000 + (7.006" - 7.000") + 0.006" = 6.012"

con tolerancia de maquinado estándar

$$\therefore \text{ID del cojinete} = 6.012" + 0.003 / - 0.000"$$

INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

MAQUINADO Y MEDICIÓN

- a) Maquinado en general
- b) Maquinado del XL y del SXL
- c) Medidas de las dimensiones y del acabado
- d) Maquinado del Composite

a) MAQUINADO EN GENERAL

Thordon es un producto polimérico elastómero resistente y fuerte que se puede maquinar con facilidad. Sin embargo, es necesario recordar que Thordon no es metálico y se debe maquinar en forma diferente del metal. Debido al carácter elastómero de Thordon, tiende a “salirse” de todo lo que ejerza presión sobre el mismo, incluyendo herramientas de maquinado de cualquier tipo. Thordon no se puede bruñir ni astillar, se debe **cortar** con una herramienta **afilada**. Debemos enfatizar el uso de herramientas de corte afiladas para garantizar un maquinado exitoso de los cojinetes Thordon.

Cuando se labran cojinetes de pared delgada, es importante reconocer que si se ejerce demasiada presión, se puede deformar el cojinete. En ciertas situaciones puede ser necesario usar mordazas para mandril modificadas para apoyar el tubo, usando una araña, un tacón o un mandril, o colocar el tubo usando una placa de sujeción.

Las velocidades de corte también son importantes. Las velocidades bajas de alimentación combinadas con una velocidad de rotación demasiado baja tienden a producir un corte áspero debido a la dureza y naturaleza elastómera de Thordon. Velocidades altas combinadas con una velocidad baja de alimentación pueden producir demasiado calor por rozamiento lo que resultará en un acabado raspado y pegajoso. Las combinaciones ideales de velocidad y alimentación son similares a las que se usan para maquinar el aluminio.

Los juegos, según se especifiquen usando la información de diseño en este manual, pueden parecer excesivos en comparación con los metales. Sin embargo, Thordon se expande con cambios de temperatura e inmersión en el agua y su tasa de contracción de cierre del calibre es superior al 100% de la interferencia. Esto se debe a las características incompresibles de Thordon. El juego mínimo instalado tiene en cuenta todos estos factores. Además, esto tiene en cuenta el juego necesario para una película de lubricación líquida si el cojinete se lubrica con agua o aceite y el juego de seguridad por la acumulación de calor por rozamiento. El juego recomendado de trabajo **no se debe disminuir** sin consultar primero con el distribuidor de Thordon o con Thordon Bearings Inc.

NOTA: Es casi seguro que el cojinete fallará si no se proporciona un juego de trabajo adecuado.

Casi todas las operaciones que se pueden realizar con el metal, es decir maquinar, taladrar, horadar, formar, contornear, aserrar, fresar y adherir, se pueden realizar con Thordon. Thordon también se puede contornear y formar con herramientas manuales convencionales, teniendo en cuenta que es necesario usar cuchillas de corte con punta de carburo para evitar la acumulación de calor cuando se esté aserrando.

INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

b) MAQUINADO DEL XL Y DEL SXL

i) Herramienta de corte

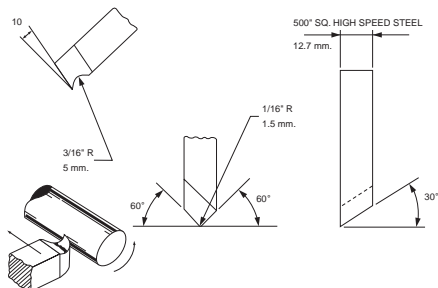
Para maquinar el Thordon, es esencial que se use la herramienta de corte correcta. Las herramientas deben estar diseñadas para cortar y descargar el material de la superficie labrada. Cuando se labra un Thordon, la herramienta de corte descarga un chorro continuo. La herramienta de corte **debe estar afilada**. Después de la rectificación, se deberá afilar la herramienta de corte con una piedra al aceite para garantizar un borde de corte afilado.

Algunas de las nuevas herramientas de corte disponibles actualmente en el mercado, dan resultados excelentes en el maquinado de los cojinetes Thordon. Estas son muy afiladas al principio y mantienen bien su borde afilado. Una marca que se vende en todo el mundo y con la cual hemos tenido experiencia, y podemos recomendar, es fabricada por Kennametal. La cuchilla es de carburo revestido de Nitruro de Titanio PVD y es la pieza Kennametal No. CPGT3251HP-KC730. El portaherramientas es la pieza No. SCMPN-083V. La serie KC730 de Kennametal ofrece una variedad de cuchillas y portaherramientas. Las normas ISO correspondientes son M05 - M20, S15 - S25. Si tiene dificultad en encontrar estos artículos, o productos similares, sírvase comunicarse con Thordon Bearings o con su Distribuidor local de Thordon Bearings.

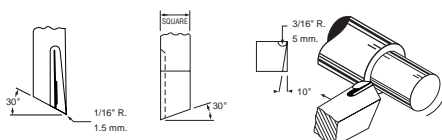
Cuando se labran, y especialmente cuando se horadan los cojinetes Thordon, es importante asegurarse de que el chorro de maquinado sea eliminado, de lo contrario, interferirá con la herramienta de corte y resultará en un acabado áspero.

Los dibujos que aparecen a continuación ilustran la configuración correcta de la herramienta de corte cuando se usen cuchillas convencionales. Para SXL y Composite se usa acero de alta velocidad. Para XL se usan cuchillas de carburo de tungsteno.

Cuchillas para maquinado en general



Cuchilla para maquinado escalonado



ii) Velocidades de maquinado y alimentación

El cuadro a continuación ilustra las velocidades de rotación sugeridas para cojinetes de diferentes diámetros.

DIÁMETRO DEL COJINETE		
MÉTRICO	IMPERIAL	RPM
75 mm	3.0"	600
150 mm	6.0"	450
300 mm	12.0"	300
450 mm	18.0"	150
600 mm	24.0"	120
750 mm	30.0"	95
900 mm	36.0"	80

Las tasas de alimentación sugeridas cuando se usen cuchillas convencionales aparecen a continuación. Si se emplea la nueva Kennametal KC730 o una cuchilla similar, las tasas de alimentación deberán ser un 50% aproximadamente de las tasas indicadas.

MÉTRICO - Alimentación gruesa: 0.50 a 0.60 mm/rev.
Alimentación fina: 0.40 mm/ rev.

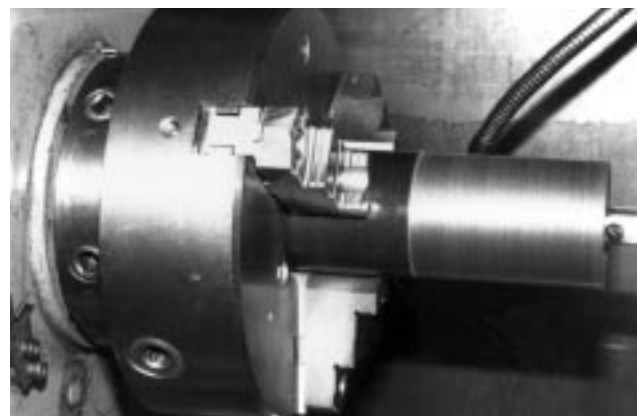
IMPERIAL - Alimentación gruesa: 0.020" a 0.025" /rev.
Alimentación fina: 0.015" / rev.

NOTA 1: Las velocidades de rotación y alimentación se indican como guía solamente. La velocidad ideal puede ser mayor o menor y depende de variables como el largo del tubo, el espesor de la pared, y cómo se apoya el cojinete, por ej. fijado con mandril solamente, con araña en el mandril o con un mandril de tamaño total. Como es común con toda operación de maquinado, se deberá experimentar un poco hasta que se obtengan los resultados ideales.

NOTA 2: No se requiere ni se recomienda el uso de lubricantes de corte.

iii) Posicionamiento del cojinete

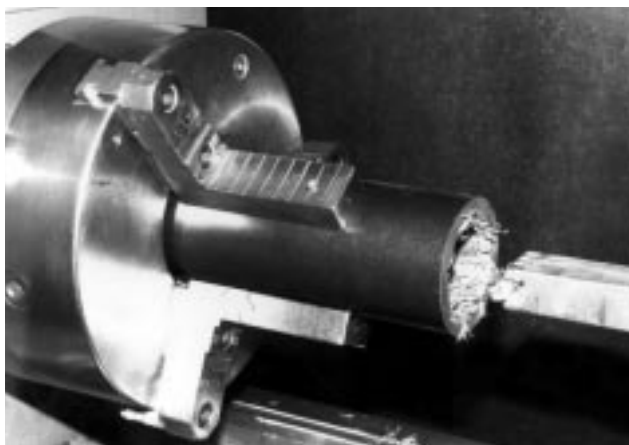
Maquinado - largo parcial desde un tubo



Cuando se hace un cojinete del largo parcial de un tubo, se puede fijar en un extremo en una mordaza de mandril normal 3, se puede desbastar el diámetro exterior, acabar el diámetro interior, luego acabar el diámetro exterior y luego separar al largo. Es importante tener cuidado de no ajustar demasiado el mandril para no deformar el tubo.

INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

Maquinado - Diámetro interior - tubo de pared delgada con mandril de mordaza blanda:



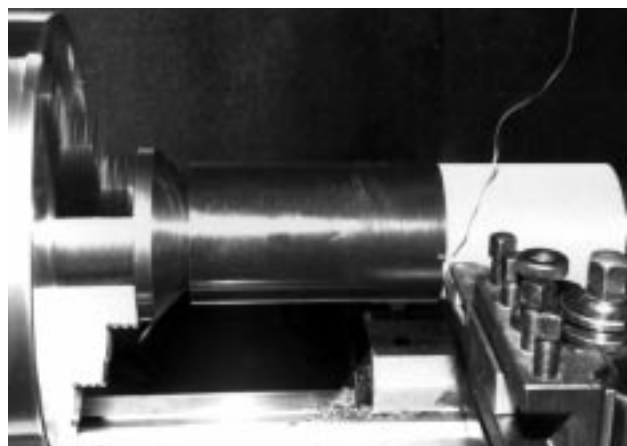
Para maquinar el diámetro interior de un tubo de pared delgada, se debe desbastar el diámetro exterior, se debe sujetar el tubo en un mandril extendido de mordaza blanda y acabar el diámetro interior. El mandril extendido sujetará y apoyará el tubo sin deformarlo.

Maquinado - Diámetro interior - tubo de pared delgada con camisa externa:



También se puede maquinar el diámetro interior de un tubo de pared delgada, labrando primero el diámetro exterior al tamaño requerido, aplicando una presión ligera sobre el tubo en un alojamiento metálico maquinado, fijando el alojamiento y luego labrando el diámetro interior del tubo. Con este método, es posible obtener tolerancias más estrechas que las obtenidas con las mordazas blandas externas, pero es más complicado y generalmente no es necesario.

Maquinado - Diámetro exterior - largo total de un cojinete con estrías de lubricación - apoyado en los centros.



Después de haber acabado el diámetro interior de un cojinete con estrías de lubricación, el cojinete se puede fijar en los centros, impulsarlo por medio de una chaveta en una de las estrías y acabar el diámetro exterior.

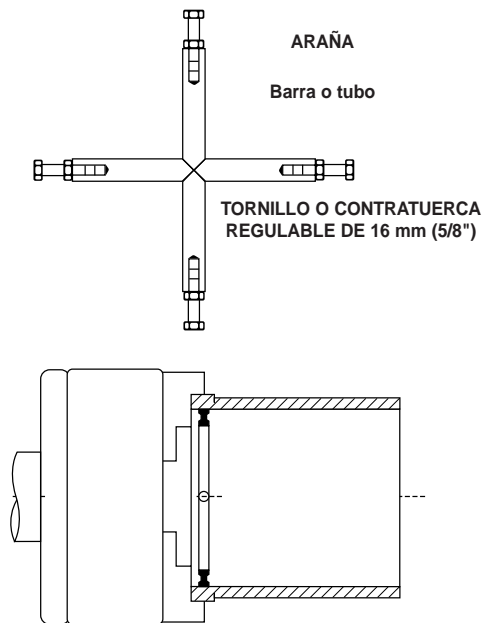
Maquinado - Diámetro exterior - tacón de acero maquinado o araña regulable



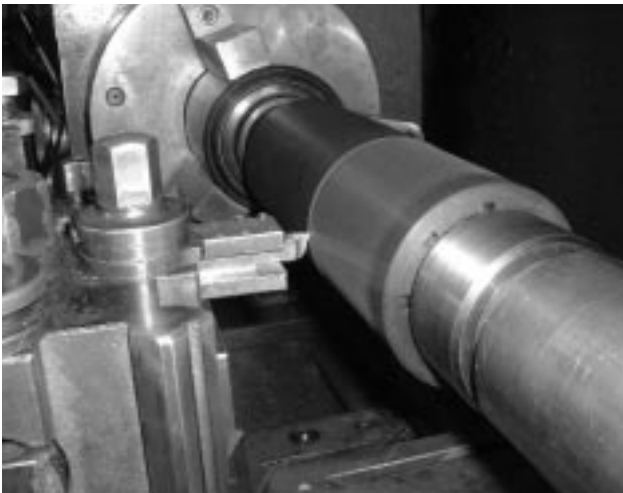
Después de haber maquinado el diámetro interior de un tubo, se puede ajustar suavemente un tacón de acero maquinado en el diámetro interior del cojinete. En tubos más grandes se puede colocar una araña de 3 o 4 brazos en el diámetro interior del tubo y colocarla en posición opuesta a las mordazas de mandril. Ambos dispositivos pueden eliminar la distorsión de la presión de las mordazas de mandril. En la página siguiente, se ilustra una araña de 4 brazos de construcción simple. Con cualquiera de estos métodos es necesario agregar un huelgo de 50 mm (2.0") a la longitud requerida del cojinete para la fijación.

INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

Araña regulable

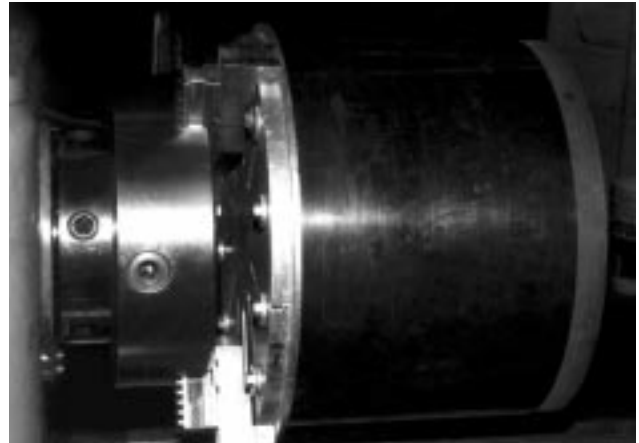


Maquinado - Diámetro exterior - Mandril de acero escalonado



Después de haber acabado el diámetro interior del cojinete, se puede usar un mandril de acero escalonado o Thordon maquinado para un ajuste suave en el cojinete, sujetarlo en las mordazas para apoyar el cojinete y maquinar el diámetro exterior. Con este método es posible obtener tolerancias más estrechas pero es más complicado y generalmente no es necesario.

Maquinado - Diámetro exterior y diámetro interior - tubo montado en una placa de fijación.



Los cojinetes con un diámetro exterior mayor que 380 mm (15.00") se pueden montar con más facilidad para maquinar, atornillándolos a una placa de fijación. La placa de fijación se puede fijar en el torno. Se deben agregar 50 mm (2.0") adicionales al largo del cojinete requerido como huelo para la fijación.

Primero se desbasta el diámetro exterior del tubo, luego se acaba el diámetro interior, se acaba el diámetro exterior y se separa el largo del cojinete del tubo.

Si el cojinete es demasiado grande como para sujetarlo con seguridad cuando se le separa del tubo, se deberá usar el siguiente procedimiento. Separe el tubo entre 80% y 90% aproximadamente, saque la placa de fijación y el tubo del torno y corte el cojinete del tubo con una cuchilla.

Es necesario maquinar completamente el cojinete sin detenerse por mucho tiempo. Esto impide que el cojinete se caiga o salga de su posición.

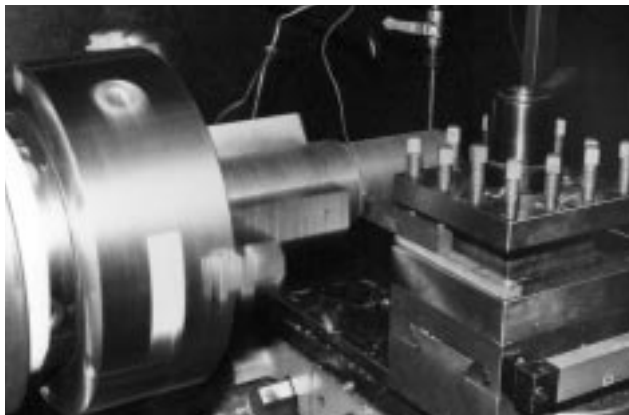
NOTA: Verifique que el tubo esté firmemente montado en la placa de fijación antes de hacerlo girar. Si el tubo no está firme, puede aflojarse y provocar lesiones personales.



La placa de fijación se debe centrar con la mayor precisión posible y luego atornillar al tubo. Después del montaje, se puede rectificar el tubo para el maquinado, si fuese necesario, aflojando los tornillos y ajustando la posición del tubo, usando las ranuras en la placa de fijación.

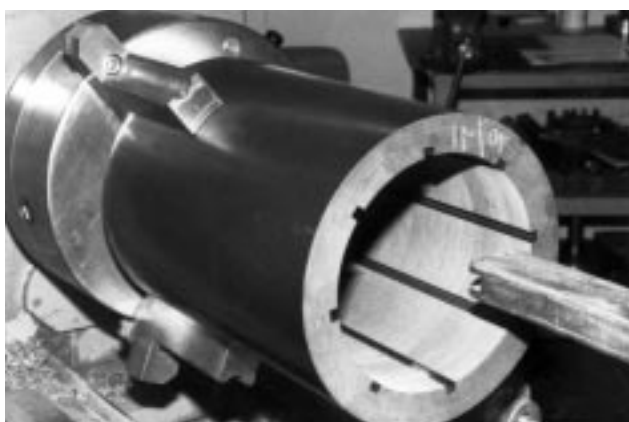
INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

iv) Separación a lo largo:



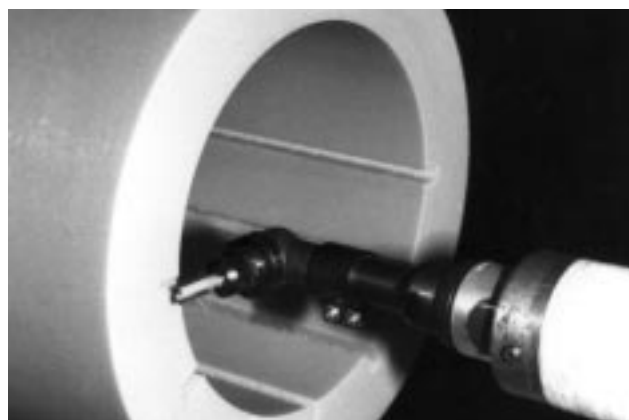
Thordon se puede separar a lo largo con una herramienta estándar de separación. Sin embargo, se recomienda dejar un juego adicional vertical y lateral para evitar la generación de calor que resulta del contacto de Thordon con el costado de la herramienta de separación.

v) Maquinado de las estrías de lubricación:



Las estrías de lubricación se pueden maquinar a mano o con un rectificador.

Para maquinar las estrías de lubricación a mano, se coloca una cuchilla labrada en la barra de horadación del torno y se empuja manualmente a través del cojinete. Es posible que se requieran varias pasadas para lograr la profundidad final de la estría.



Las estrías se pueden maquinar con mucha más facilidad si se coloca un rectificador en la barra de horadación y luego se labra a la profundidad correcta en una pasada a través del cojinete.



El diámetro exterior del mandril se puede dividir y marcar para que actúe como guía en la localización de las estrías en el cojinete.

vi) Sugerencias generales para el maquinado:

1. Para obtener los mejores resultados en las dimensiones y en el acabado, el corte final de maquinado debe ser entre 1.5 mm (0.060") y 2.5 mm (0.100") y la herramienta de corte debe estar tan afilada como una navaja.
2. El maquinado se debe realizar en un entorno controlado y con el mínimo de acumulación de calor. Los cambios de temperatura pueden provocar cambios dimensionales considerables.
3. Debido a la naturaleza elastómera de Thordon, si ocurre un error en el maquinado del diámetro interior y si el espesor de la pared aún es inadecuado, es posible volver a calcular el diámetro exterior del cojinete y aún usarlo.

INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

c) MEDIDAS DE LAS DIMENSIONES Y DEL ACABADO

i) Medidas de las dimensiones



En la mayoría de los casos, Thordon se puede medir usando los mismos instrumentos y métodos que cualquier otro material. Es necesario recordar que Thordon es un elastómero y se debe usar un toque ligero cuando se mida ya que es posible deformar el cojinete. Además, Thordon tiene un alto coeficiente de expansión en comparación con metales y las medidas se deben tomar a la temperatura ambiente del taller. Si esto no es posible, entonces se deberán corregir las dimensiones por toda expansión o contracción térmica que pueda haber ocurrido debido a la diferencia entre la temperatura ambiente del taller y del ambiente en que se tomaron las medidas.

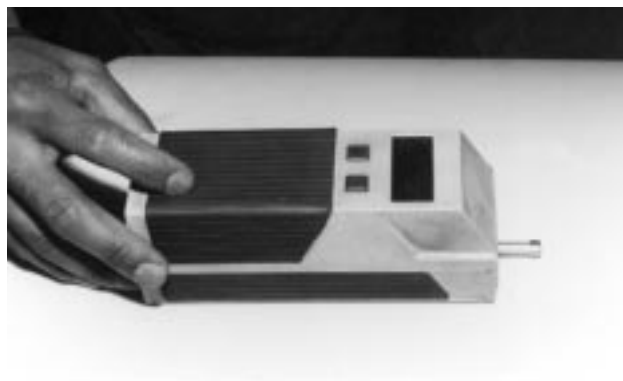


En caso de diámetros más grandes, es común descubrir que los cojinetes con paredes relativamente delgadas que se labraron y se retiraron del torno han quedado un poco ovalados. Esta deformación puede ser el resultado de la "comba" del cojinete bajo su propio peso o por haber estado afianzado a un larguero durante el envío. Es posible que el cojinete parezca estar fuera de sus tolerancias debido a que está excéntrico. Para medir el cojinete fuera del alojamiento con precisión, use una cinta pi para medir el diámetro exterior y luego medir el espesor de la pared y obtener la dimensión correcta del diámetro interior.

Una cinta pi es una cinta de acero de precisión calibrada para medir diámetros por circunferencia medida.

ii) Acabado de superficie:

Debido a su naturaleza de elastómero no metálico, Thordon no se puede maquinar para obtener una superficie tan uniforme como la de los metales. Este no es un problema ya que el cojinete pasa por el período normal de ajuste durante el cual se suaviza la aspereza inicial de su superficie. Sin embargo, es importante tratar de obtener un acabado lo más uniforme posible para reducir la fricción y el desgaste del ajuste inicial. La sección de maquinado ha cubierto las técnicas para obtener un buen acabado de superficie, pero es importante saber cómo medir el acabado de la superficie de un cojinete Thordon.



Debido a la naturaleza no metálica el Thordon tendrá Debido a la naturaleza no metálica del Thordon, se "sentirá" más blando al tacto de lo que realmente es, en comparación con los metales. Para medir el acabado de superficie de un Thordon con precisión, se debe usar un calibrador de acabado de superficie tipo estilete. La experiencia práctica ha demostrado que el uso de un comparador generalmente dará un valor que no es el real. Esto se debe a que el Thordon es más blando que el metal y parece ser más uniforme de lo que realmente es cuando se le mide con un estilete.

INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

iii) Tolerancias de maquinado y del acabado de superficie

Los cojinetes Thordon no son metálicos y no se pueden maquinar a las mismas tolerancias estrechas que el bronce o que otros materiales rígidos. Al mismo tiempo, esas tolerancias "metálicas" no son necesarias para obtener el mejor rendimiento. Las tolerancias de maquinado estándar de Thordon son las siguientes:

Cojinetes de hasta 380 mm (15.00")

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

Cojinetes entre 380 y 600 mm (15.00" y 24.00")

O.D. +0.18 mm -0.00 mm (+0.007", -0.000")
W.T. +0.00 mm -0.13 mm (+0.000", -0.005")

Cojinetes superiores a 600 mm (24.00")

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

Las tolerancias del acabado de superficie son las siguientes:

XL: 3.2 micrómetros (125 micro-pulgadas)

SXL: 3.2 micrómetros (125 micro-pulgadas)

Composite: 4.2 micrómetros (175 micro-pulgadas)

NOTA: Debido a las características especiales de Thordon en comparación con los metales aún se puede obtener un rendimiento ideal con acabados relativamente altos (en comparación con los metales).

d) MAQUINADO DEL COMPOSITE

El maquinado del Thordon Composite es diferente del maquinado de Thordon XL o SXL debido al material más blando que se usa en el Composite. El diámetro exterior, debido a que es un Thordon común, se puede maquinar usando las mismas técnicas indicadas en la sección (b) para maquinar el XL y el SXL. Sin embargo, el diámetro interior se labra en forma diferente y eso es lo que cubrimos en esta sección.

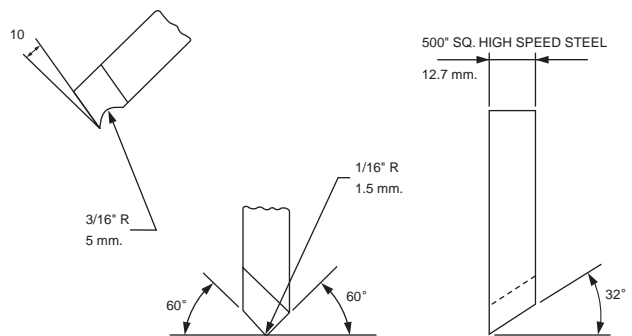
i) Herramienta de corte

La nueva cuchilla Kennametal o su equivalente con carburo revestido de Nitruro de Titanio PVD descrita anteriormente en la sección de maquinado del XL y del SXL es muy recomendada para maquinar los cojinetes Thordon Composite. Con estas cuchillas, el diámetro interior GM2401 de los cojinetes se puede acabar con un acabado de superficie aceptable sin usar un triturador de rectificación como se recomendaba en el pasado.

Si se usa una herramienta convencional de alta velocidad para maquinar el material interior del cojinete Composite, se deberá seguir la configuración ilustrada a continuación.

La herramienta de corte para maquinar el Composite debe ser según la configuración ilustrada a continuación. Para otros tipos de cojinetes Thordon, es esencial que la herramienta de corte se mantenga bien afilada.

Herramienta de Corte de Acero de Alta Velocidad



Cuando se use una cuchilla convencional de alta velocidad para maquinar el diámetro interior de un cojinete Thordon Composite, se deberán seguir ciertos pasos adicionales. Debido a la naturaleza del revestimiento del Composite GM2401, las cuchillas convencionales se gastan con rapidez. En el curso de una pasada de maquinado a través del diámetro interior, la cuchilla se gastará lo suficiente como para producir un ahusamiento a lo largo del diámetro interior del cojinete. Este ahusamiento se debe corregir en una segunda pasada, de manera que el primer paso es el de asegurarse de que las dos pasadas finales tengan una profundidad de 2.0 a 3.0 mm (0.080" a 0.120") para acabar el diámetro interior del cojinete. La primera pasada se usa para medir la cantidad de ahusamiento que ocurre (un ahusamiento de 0.15 mm (0.006") a lo largo de un tubo Thordon estándar es común) y luego se debe corregir este ahusamiento en la segunda pasada.

INSTRUCCIONES PARA EL MAQUINADO

Para introducir las correcciones necesarias, se debe colocar un indicador de cuadrante preciso en el poste de la herramienta y el poste de la herramienta debe estar marcado en incrementos de 25 mm (1.0"). La cantidad de corrección se deberá calcular en base a la cantidad de ahusamiento que exista después de la primera pasada de maquinado. Por ejemplo, si el ahusamiento era de 0.15 mm (0.006") a través de un cojinete de 300 mm (12.0") de largo, se requerirá una corrección de 0.013 mm (0.0005") por 25 mm (1.0") de largo de calibre o la mitad de esta cantidad (0.0065 mm (0.00025") por 25 mm (1.0")) medidos en el indicador de cuadrante. Esta corrección se hace rectificando el poste de la herramienta a mano a incrementos de 25 mm (1.0") a lo largo del calibre durante la última pasada.

NOTA: Es muy importante indicar que la pasada final se debe realizar a la misma profundidad, velocidad y tasa de alimentación que la anterior. De lo contrario, el desgaste en la cuchilla que produjo el ahusamiento cambiará y la corrección hecha a mano no será correcta.

El maquinado del diámetro interior produce una rebaba en las estrías de lubricación que se puede eliminar con un papel de esmeril. El acabado de superficie del cojinete será un poco áspero, pero el cojinete se asentará rápidamente y se desempeñará debidamente.

ii) Velocidades de maquinado y alimentación

El cuadro a continuación ilustra las velocidades de rotación sugeridas para cojinetes Composite de diferentes diámetros.

DIÁMETRO DEL COJINETE		
MÉTRICO	IMPERIAL	RPM
150 mm	6.0"	250
300 mm	12.0"	100
450 mm	18.0"	75
600 mm	24.0"	60
750 mm	30.0"	50
900 mm	36.0"	40

Las tasas de alimentación sugeridas cuando se usen las nuevas cuchillas Kennametal o una cuchilla similar de carburo revestido de Nitruro de Titanio PVD aparecen a continuación. Si se usan cuchillas convencionales de alta velocidad, las tasas de alimentación serán aproximadamente el doble.

MÉTRICO – 0.20 a 0.25 mm/rev.

IMPERIAL – 0.008" a 0.010"/rev.

NOTA 1: Las velocidades de rotación, alimentación y rectificación se indican como guía solamente. La velocidad ideal puede ser mayor o menor y depende de variables como el largo del tubo, el espesor de la pared, y cómo se apoya el cojinete. Como con toda operación de maquinado, se deberá experimentar un poco hasta que se obtengan los resultados ideales.

NOTA 2: No se requiere ni se recomienda el uso de lubricantes de corte.

iii) Procedimiento de maquinado (diámetro exterior hasta 250 mm (10.0"))

El procedimiento para maquinar los cojinetes Thordon Composite de diámetro exterior de hasta 250 mm (10.0") se pueden resumir en los siguientes pasos.

- Divida el exceso de tamaño del cojinete y realice el fresado al largo acabado requerido
- Coloque el cojinete en los centros y desbaste el diámetro exterior.
- Presione el cojinete (ajuste a presión ligera) dentro de un alojamiento para apoyarlo y acabe el diámetro interior.
- Presione ligeramente el cojinete sobre el mandril y acabe el diámetro exterior.

iv) Procedimiento de maquinado (diámetro exterior mayor que 250 mm (10.0"))

Los cojinetes Composite mayores de 250 mm (10.0") se labran mejor cuando se los coloca sobre una placa de fijación y luego se labra el diámetro interior, el diámetro exterior, se divide el exceso de tamaño y se fresa al largo deseado.

NOTA: Verifique que el cojinete esté debidamente colocado en la placa de fijación antes de hacerlo girar, de lo contrario se podrá aflojar y provocará lesiones personales.