



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Naval

CARENADO, MANTENCION LINEA DE EJES E INSTALACION DE BOCINAS THORDON EN TUBOS DE CODASTE EN EMBARCACIONES PESQUERAS DE 37 METROS DE ESLORA

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Naval
Mención: Maquinas Marinas

Profesor Patrocinante:
Sr. Mario Loaiza Ojeda.
Ingeniero en Máquinas Marinas

**OSCAR ALBERTO LEON MARTINEZ
VALDIVIA - CHILE
2007**

Esta Tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La Tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el título de **Ingeniero Naval**, mención **Maquinas Marinas**.

EXAMEN DE TITULO:

Nota de Presentación	(Ponderada) (1)	:
Nota de Examen	(Ponderada) (2)	:
Nota Final de Titulación	(1 + 2)	:

COMISION EXAMINADORA:

----- DECANO	----- FIRMA
----- EXAMINADOR	----- FIRMA
----- EXAMINADOR	----- FIRMA
----- EXAMINADOR	----- FIRMA
----- SECRETARIO ACADEMICO	----- FIRMA

Valdivia,

Nota de presentación	= NC/NA * 0,6 + Nota de Tesis * 0,2
Nota Final	= Nota de Presentación + Nota Examen * 0,2
NC	= Sumatoria Notas de Currículo, sin Tesis
NA	= Numero de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida Practica profesional

RESUMEN

El presente trabajo, es guía de diseño de los cojinetes Thordon y a la vez es una recopilación de datos empíricos, que pueden ser de gran apoyo al momento de la reparación o carena de una embarcación pesquera de menos de 37 m.. Además, es un trabajo informativo referente a la experiencia obtenida por mi persona en el astillero Maestranzas Navales de Caldera.

Mediante esto el lector podrá orientarse, referido al calculo de los cojinetes thordon y de las diversas consideraciones que debe tomar en cuenta a la hora de un proyecto de este tipo.

SUMMARY

The present work, is guide of design of the Thordon bearings and simultaneously it is an empirical data summary, that they can be of great support at the time of the repair of axes of a fishing boat of less than 37 m. In addition, it is an informative work referring to the experience obtained by my person in the Shipyard Maestranzas Navales de Caldera

.By means of this the reader will be able to orient itself, referred to I calculate of the bearings Thordon and the diverse considerations that must take into account at the time of a project of this type.

INTRODUCCION

La vida útil de una embarcación depende mucho del periodo de carenas a las que esta concurra y obviamente del cuidado de su tripulación. Los inconvenientes por los que una embarcación pesquera concurre a dique son principalmente complicaciones mecánicas, referentes a ejes, hélices, sistema de gobierno, y sistemas de achique.

Los ejes, y el sistema de gobierno, son la ruta critica en una carena mecánica, puesto que sus descansos están sometidos a muchos esfuerzos durante la faena de pesca. Es por ello que aquí hacemos énfasis en el tratamiento de los cojinetes con metal antifricción y en los materiales utilizados en los tubos de codaste, como descanso del eje de cola de las embarcaciones. Todos estos materiales, poseen características y propiedades que se deben tener en consideración a la hora de un tratamiento adecuado a la embarcación durante una carena.

El principal objetivo es dar pautas de trabajo para una carena exclusivamente mecánica de embarcaciones pesqueras menores, tomando en consideración que son estas pautas la base de la seguridad de la vida humana en el mar, principalmente en trabajos tan peligrosos como lo es la pesca de cerco.

INDICE

RESUMEN

INTRODUCCION

CAPITULO I COJINETES DE POLIMEROS "THORDON"

1.1	Definición.....	1
1.2	Tribología.....	1
1.2.1	Fricción.....	2
1.2.2	Lubricación.....	2
1.2.3	Desgaste.....	5
1.3	Propiedades Físicas del Material.....	6
1.3.1	Efectos Térmicos.....	7
1.3.2	Efectos del agua.....	10
1.3.3	Factor de Formas.....	12
1.3.4	Esfuerzo y deformación.....	14
1.3.5	Rigidez.....	17
1.3.6	Compresión remanente-deslizamiento-esfuerzo de relajación.....	18
1.3.7	Impacto/Elasticidad.....	19
1.3.8	Histéresis.....	20
1.3.9	Resistencia Química.....	21
1.3.10	Cuadro de Comparaciones de Propiedades Físicas.....	22
1.4	Guía de diseño.....	23
1.4.1	Análisis de aplicación.....	23
1.4.2	Presión del Cojinete.....	23
1.4.3	Velocidad.....	24
1.4.4	Gráficos P.V.T.....	25
1.4.5	Índice de Longitud/Diámetro.....	29
1.4.6	Espesor de pared.....	30
1.4.7	Superficie de Acoplamiento.....	32
1.4.8	Ajuste.....	35
1.4.9	Tolerancia de maquinado.....	40
1.4.10	Proceso de selección.....	41
1.5	Diseño según la aplicación.....	47
1.5.1	Diseño según la aplicación.....	47
1.5.2	Interferencia.....	47
1.5.3	Cierre del calibre.....	52

1.5.4	Juego de Trabajo	55
1.5.5	Huelgo por expansión térmica.....	57
1.5.6	Huelgo por expansión de agua.....	57
1.6	Medición y Maquinado.....	59
1.6.1	Maquinado en general.....	59
1.6.2	Medidas de dimensiones del acabado.....	60

CAPITULO II CARENA ESTANDAR DE EMBARCACIONES PESQUERAS,
PROCEDIMIENTO MAESTRANZAS NAVALES DE CALDERA.

3.1	Revisión general del tren propulsivo de la embarcación.....	63
2.1.1	Retiro de la línea de ejes y descansos.....	67
2.1.2.	Mantencion de los descansos que soportan los ejes Intermediarios.....	68
2.1.2.1	Retiro del metal blanco.....	68
2.1.2.2	Arenado de los descansos.....	69
2.1.2.3	Armado de descanso para metalado.....	71
2.1.2.4	Fundición y aplicación de la colada de metal blanco antifricción a los descansos.....	73
2.1.2.5	Proceso de Fundición y metalado de los descansos.....	77
2.1.2.6	Mecanizado de los puños de los ejes intermediarios.....	80
2.1.2.7	Armado de los descansos en los ejes y sistema de engrase de los descansos.....	82
2.1.3	Mantencion del eje de cola portahelice, hélice y tubo de codaste.....	85
2.1.3.1	Verificación del ajuste de cono de la hélice y el eje de cola y su canal chavetero.....	85
2.1.3.2	Rectificación cono del eje y la hélice.....	87
2.1.3.3	Pulido y Balanceo de la hélice.....	89
2.1.3.4	Medición de los diámetros de la bocina thordon del tubo de codaste.....	92
2.1.3.5	Uso del programa entregado por la empresa thordom bearings inc. Para el cálculo de la bocina del codaste.....	93
2.1.3.6	Uso del programa computacional Thordom, en el astillero donde fue realizada la carena.....	102
2.2	Mantención del timón, mecha del timón y bocina de la limera.....	104
2.2.1.	Retiro del timón y del eje limera.....	106

2.2.2	Reparación del cono del eje limera y del cono del cuadrante.....	110
-------	--	-----

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

GLOSARIO

ANEXOS

CAPITULO I: COJINETES DE POLIMEROS “THORDON”

Objetivo:

En el presente capítulo tiene como finalidad de dar a conocer el comportamiento, características y capacidad de cojinetes fabricados de polímeros, así como también de dar instrucciones referentes a las propiedades del material que se deben tener presentes al momento del diseño del cojinete, como son las expansiones por efecto de temperatura y por efecto del agua.

1.1 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 está 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.

1.2 Tribología

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

1.2.1 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.

1.2.2 Lubricación.

1) Lubricación húmeda(fig.1): 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.

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.

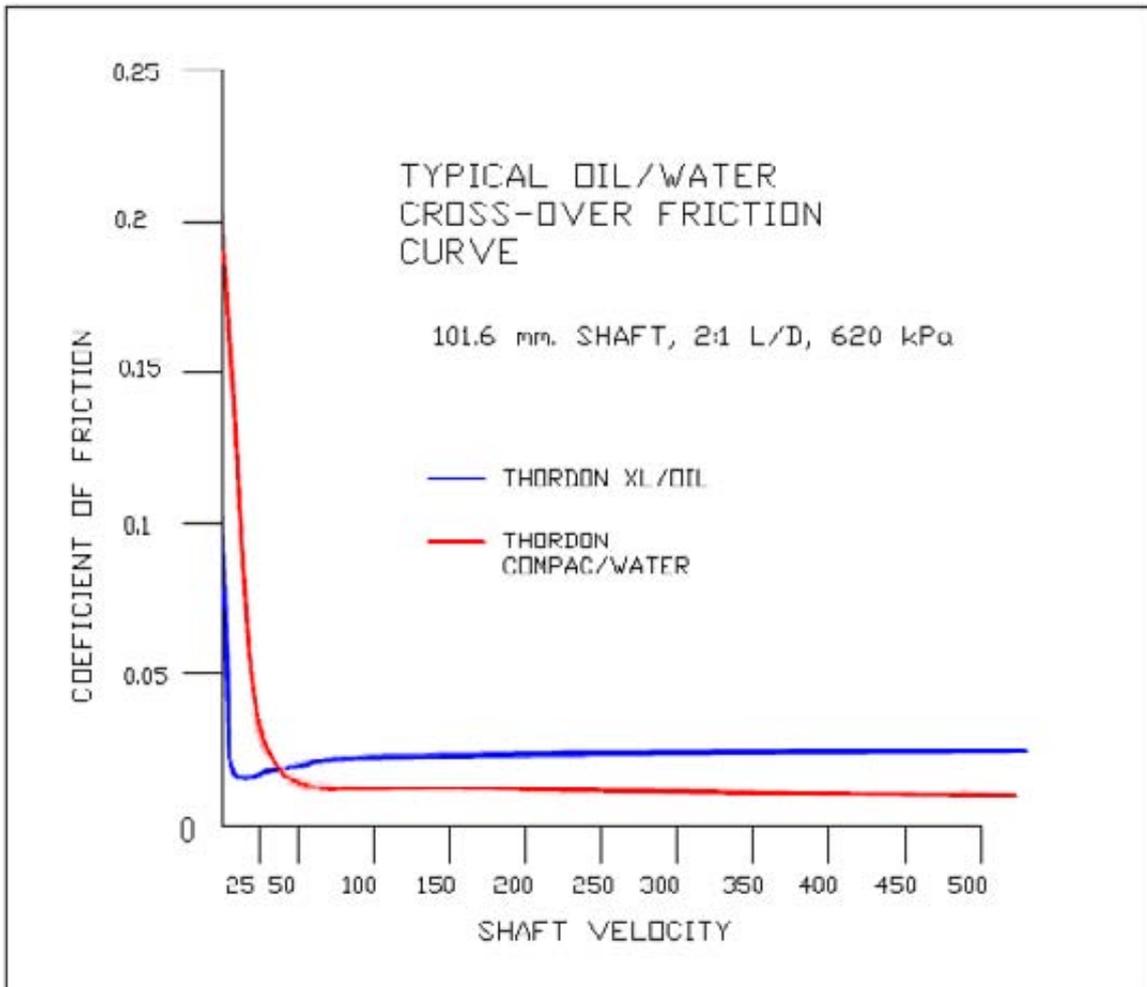


FIGURA 1.

2) 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.

3) 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.

1.2.2 Desgaste: (fig. 2)

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.

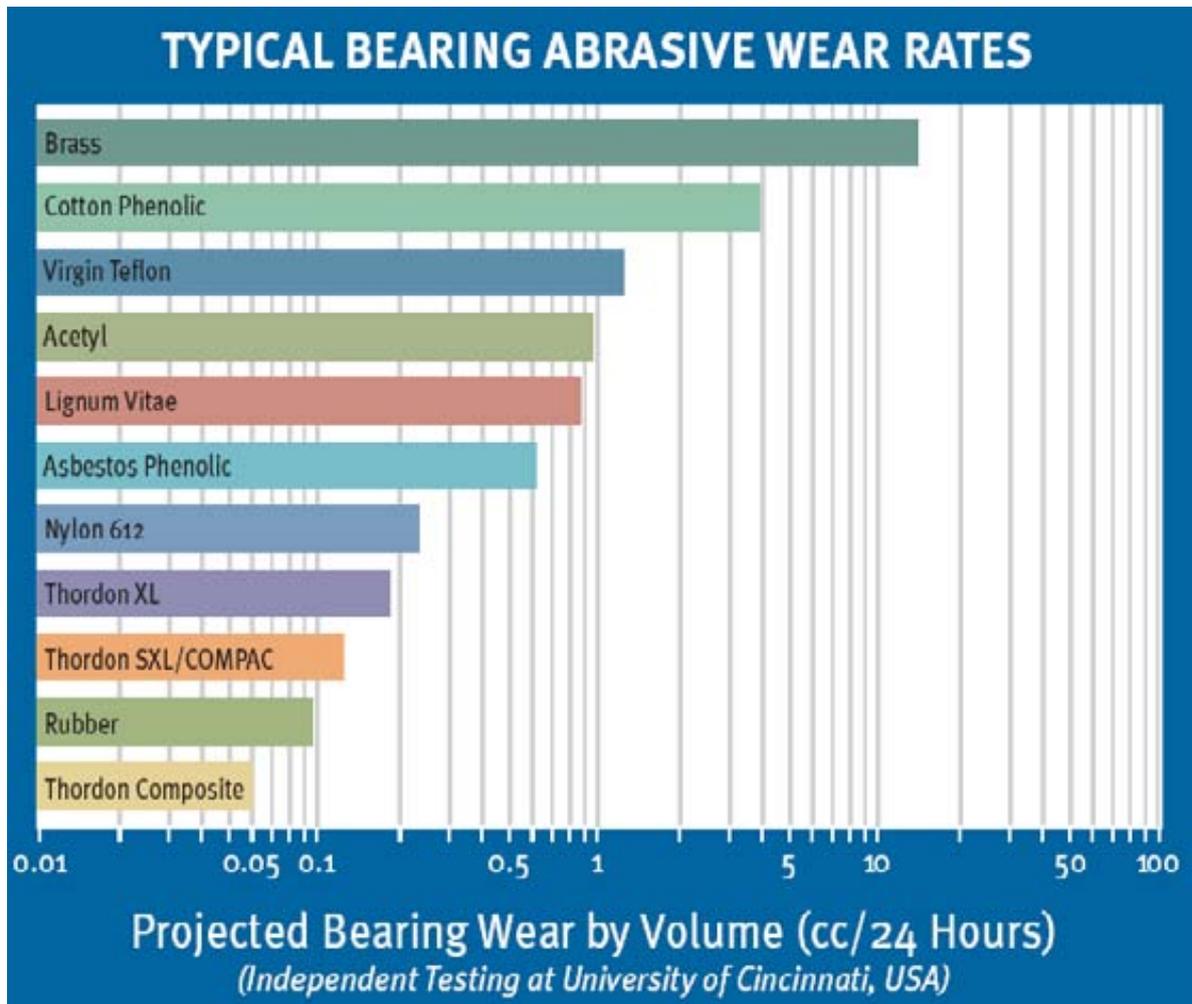
1) Desgaste de adherencia: El desgaste de adherencia ocurre cuando los picos de dos superficies ásperas entran en contacto y se sueldan o se adhieren, sacando una partícula de desgaste. El desgaste de adherencia de Thordon es mínimo a temperaturas y presiones normales, pero se convierte en el modo dominante 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.

2) 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.

3) 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.



Rangos típicos de abrasión para distintos materiales de cojinetes.

figura 2

1.3 Propiedades Físicas del Material

Dentro de las propiedades físicas del material, tenemos las siguientes, las cuales se deben tener presentes a la hora del diseño y cálculo de un cojinete.

1.3.1 Efectos térmicos (fig.3 , fig.4)

1) **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.**

2) **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.

DIMENSIONAL CHANGE (%) vs TEMPERATURE

THORDON XL

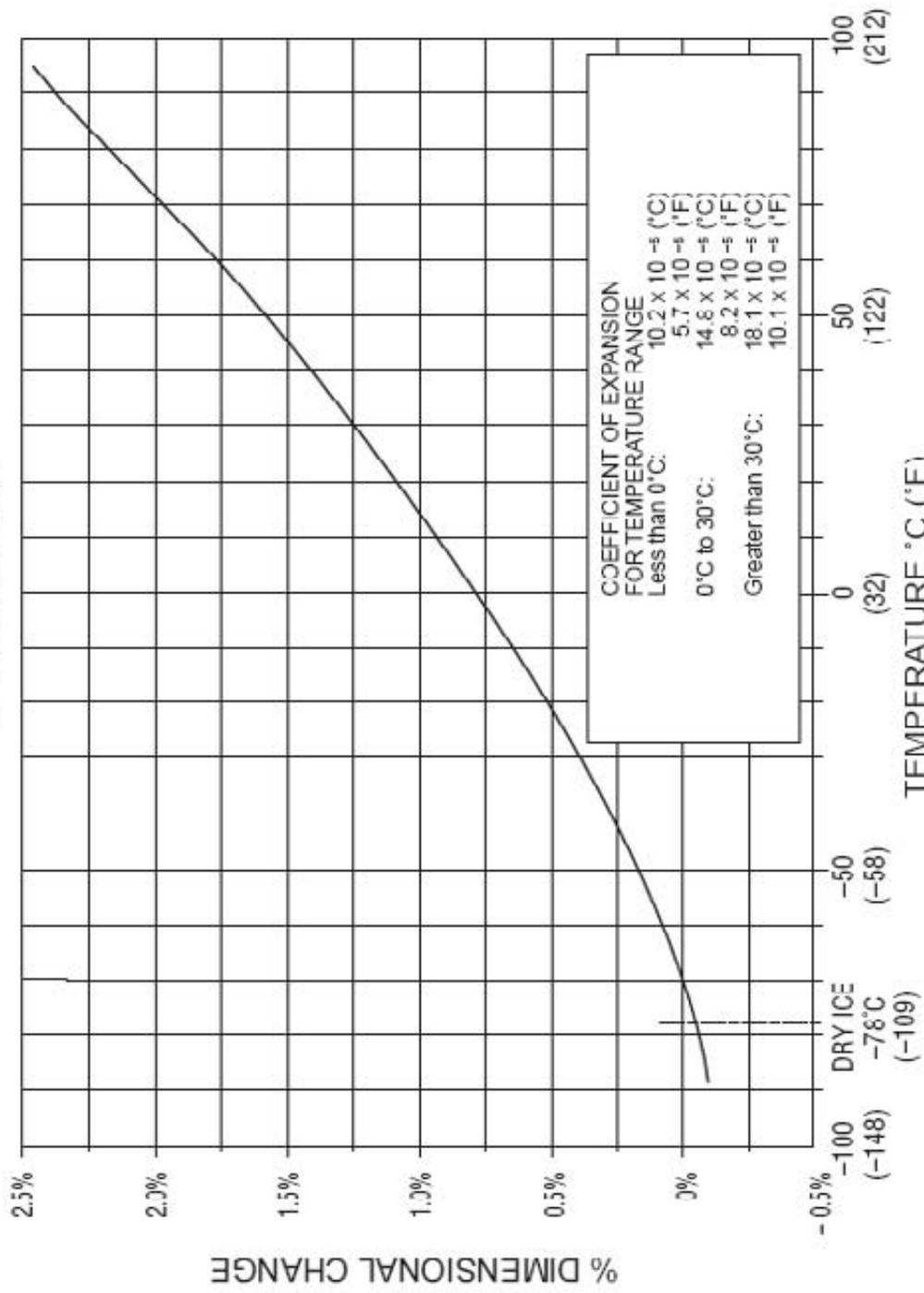


FIG.3

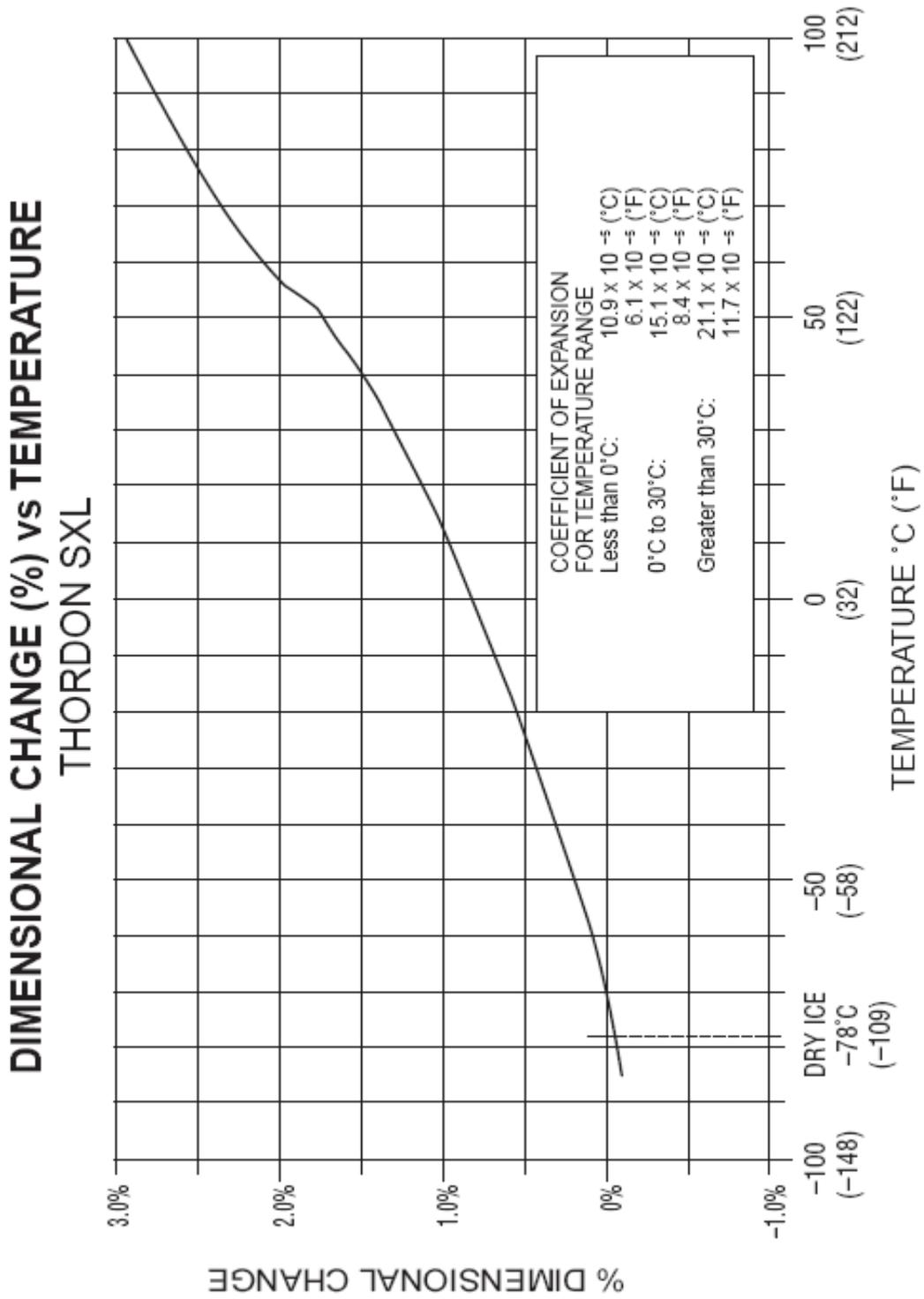


FIG.4

NOTA: Las unidades del coeficiente de expansión/contracción térmicas son:
 Metrica: (cm/cm/°C x 105)
 Imperial: (in/in/°F x 105)

1.3.2 EFECTOS DEL AGUA: (fig.5)

1) 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. La fig.5 muestra el % de cambio del volumen vs el tiempo de inmersión a 21° C (70° F)

2) 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.

WATER ABSORPTION — THORDON XL

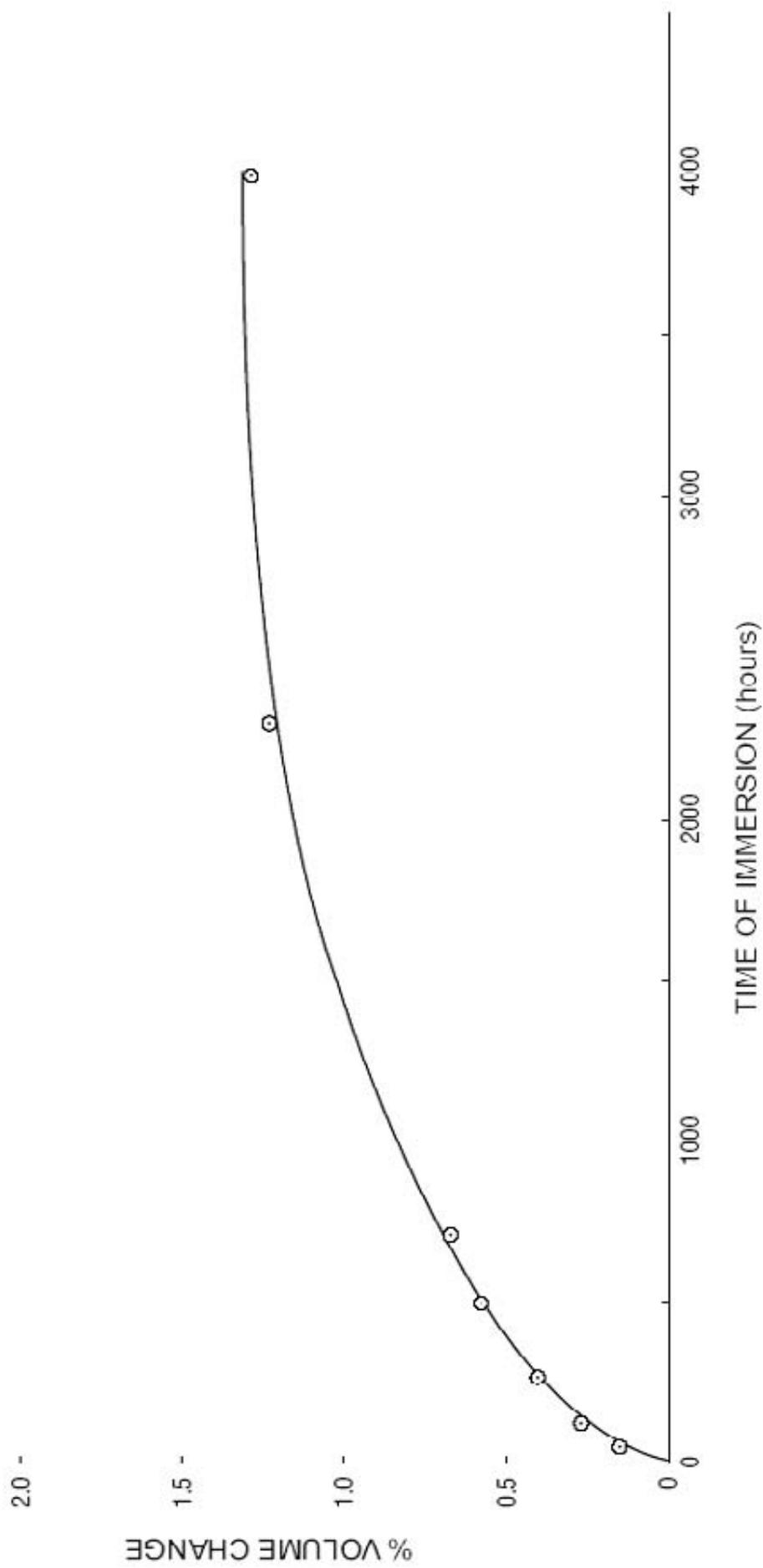


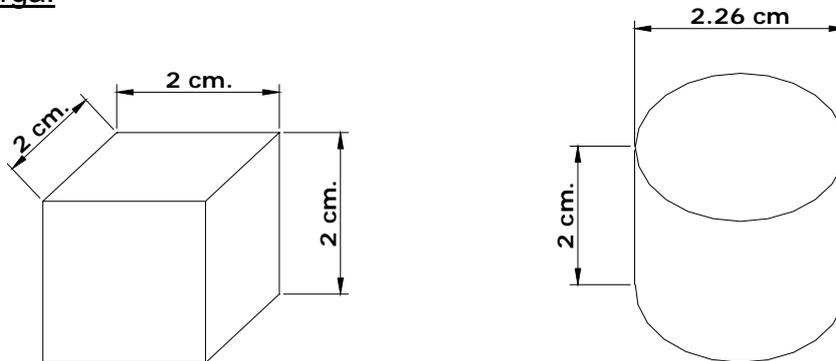
FIGURA 5

1.3.3 FACTOR DE FORMAS: (fig.6 , fig.7)

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.

Sin carga:



4 cm ²	Área Cargada	4 cm ²
16 cm ²	Área Libre a deformarse	14.2 cm ²
0.25	Factor de Formas	0.282

Con carga

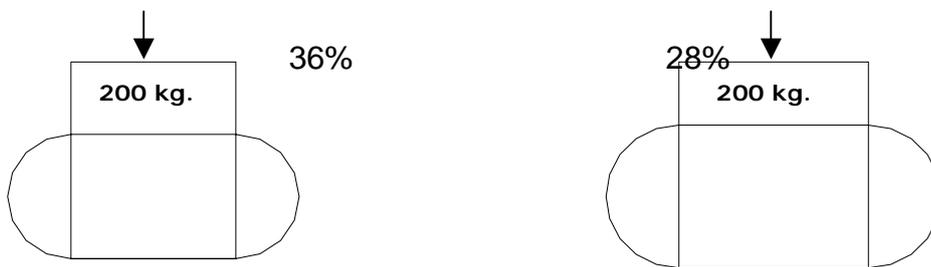


FIGURA 6.

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 cm 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.

$$\text{Por lo tanto el factor de formas es: } \frac{\text{Área cargada}}{\text{Área libre a deformarse}} = \frac{4}{16} = 0.25$$

Del mismo modo, para el formato cilíndrico, el área cargada es $(\pi \times 2.26^2 / 4) = 4.00 \text{ cm}^2$. El área libre a deformarse consiste en el área de la pared del cilindro y es la circunferencia x altura = $\pi \times 2.26 \text{ cm} \times 2.00 \text{ cm} = 14.20 \text{ cm}^2$

$$\text{Por lo tanto el factor de formas es: } \frac{\text{Área cargada}}{\text{Área libre a deformarse}} = \frac{4}{14.2} = 0.282$$

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

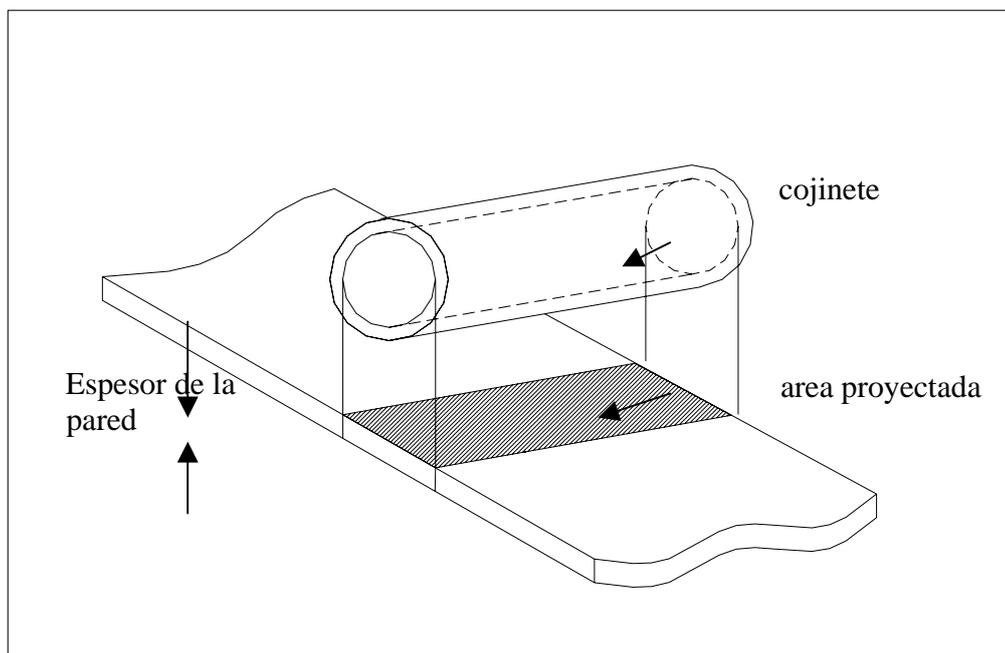


Figura7

Factor de Formas = Long. del cojinete/2x 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) Esfuerzo / Deformación.

1.3.4 ESFUERZO Y DEFORMACIÓN (fig.8, fig.9)

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.

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.

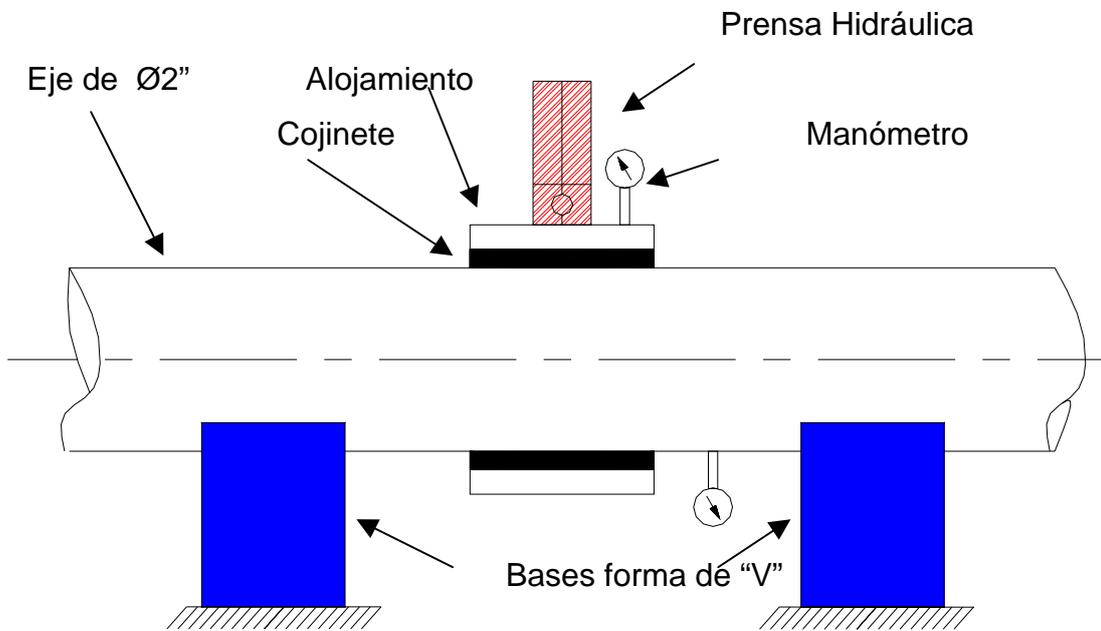
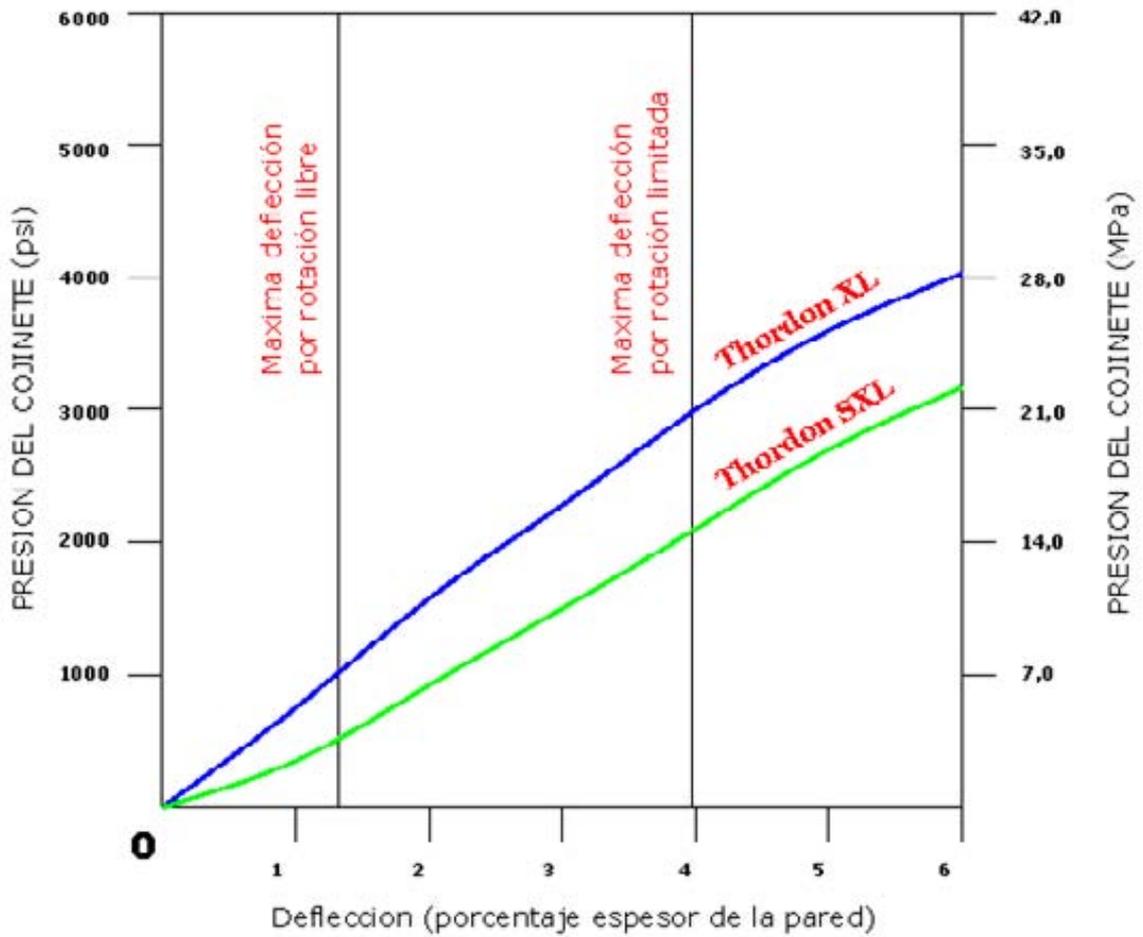


FIGURA 8.

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.

CURVAS DE ESFUERZO DEFORMACION PARA THORDON



Ancho	Largo	Espesor de la pared	Factor de formas
50 mm.	65 mm.	4 mm.	8
2"	2,5"	0,155"	8

FIGURA 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.

	E₀ (MPa)	E₀ (psi)	γ (Coeficiente de Poisson)
XL	490	71000	0,45
SXL	440	64000	0,45

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

1.3.5 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.

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

en donde: L = longitud del cojinete - metros (pulgadas)
 D = diámetro del cojinete - metros (pulgadas)
 t = espesor de la pared - metros (pulgadas)
 E₀ = 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 E₀, del módulo de Young (en compresión) para diferentes materiales que se usan generalmente en los cojinetes

MATERIAL	E₀ (MPa)	E₀ (psi)
Caucho	0,103 x 10 ³	0,015 x 10 ⁶
Thordon SXL	0,440 x 10 ³	0,064 x 10 ⁶
Thordon XL	0,490 x 10 ³	0,071 x 10 ⁶
Fenólico laminado	1,730 x 10 ³	0,251 x 10 ⁶
Metal blanco (antifricción)	33,500 x 10 ³	4,860 x 10 ⁶
Acero	206,900 x 10 ³	30,000 x 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 formas.

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 MNmm (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.

1.3.6 COMPRESIÓN REMANENTE - DESLIZAMIENTO – ESFUERZO DE RELAJACIÓN

1) 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.

2) 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.

3) 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).

1.3.7 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.

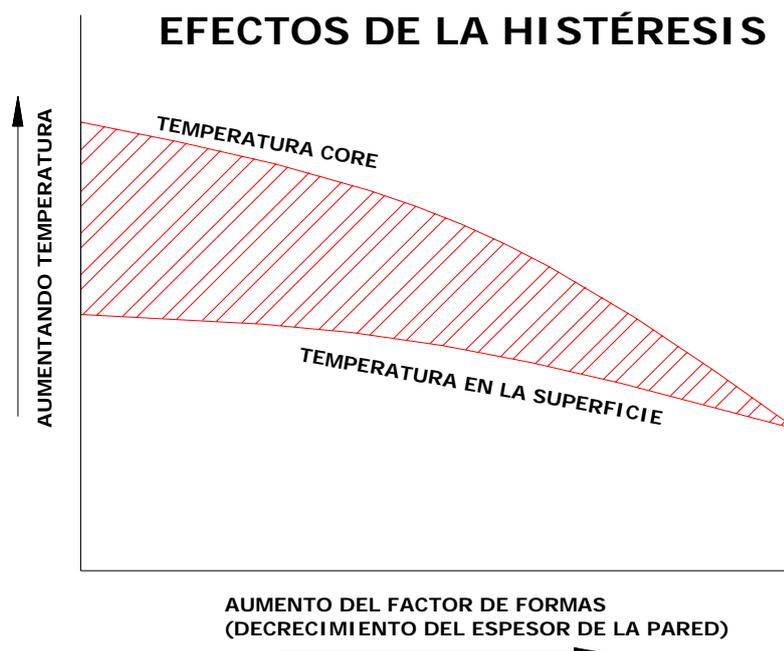
Esta combinación permite que el Thordon resista “los golpes de deformación” que ocurren frecuentemente en metales o plásticos. Con una resistencia al impacto casi 10 veces mayor que la del nylon.

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

1.4.2 HISTÉRESIS: (fig10)

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 de calor.



1.3.9 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.

1.3.10 UADRO DE COMPARACIONES DE PROPIEDADES FISICAS

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 ³)	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 21°C a 80°C	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵ cm/cm/°C x 10 ⁻⁵			9 16.2	3.5 6.48	21 37.8	5.6 10	0.94 1.7	0.13 0.234	.99 1.78
	menos de 32°F menos de 0°C	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵ cm/cm/°C x 10 ⁻⁵	5.7 10.2	6.1 10.9							
	32°F a 86°F 0°C a 30°C	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵ cm/cm/°C x 10 ⁻⁵	8.2 14.8	8.4 15.1							
	más de 86°F más de 30°C	pul/pul/°F x 10 ⁻⁵ cm/cm/°C x 10 ⁻⁵	10.1 18.1	11.7 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 aceites		%	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.	+N.F.	+N.F.
Dureza	ASTM D-2240-68	SHORE D.	73	67	43	83	64	80	90	80	96
Potencia dieléctrica	ASTM D-149-64	VMIL (V/mm)	850 -33,464	950 -37,401	—	350 -13,778	500 -19,685	500 -19,685	17 -689	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.

1.4 GUÍA DE DISEÑO

1.4.1 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

- 1. . 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.

1.4.2 PRESIÓN DEL COJINETE (fig.11)

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 subseccion(a)

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

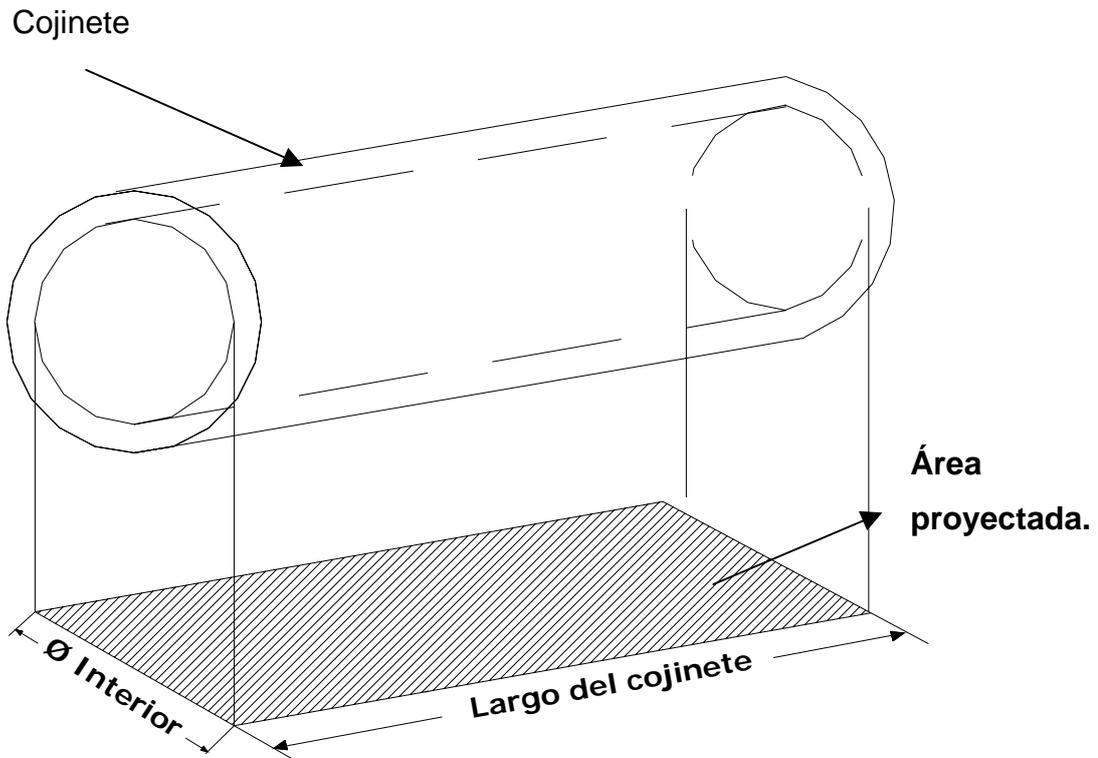


Fig. 11

1.4.3 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

1.4.4 GRÁFICOS DE P.V.T. (fig 12a – d)

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 esa 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 indicada en las curvas

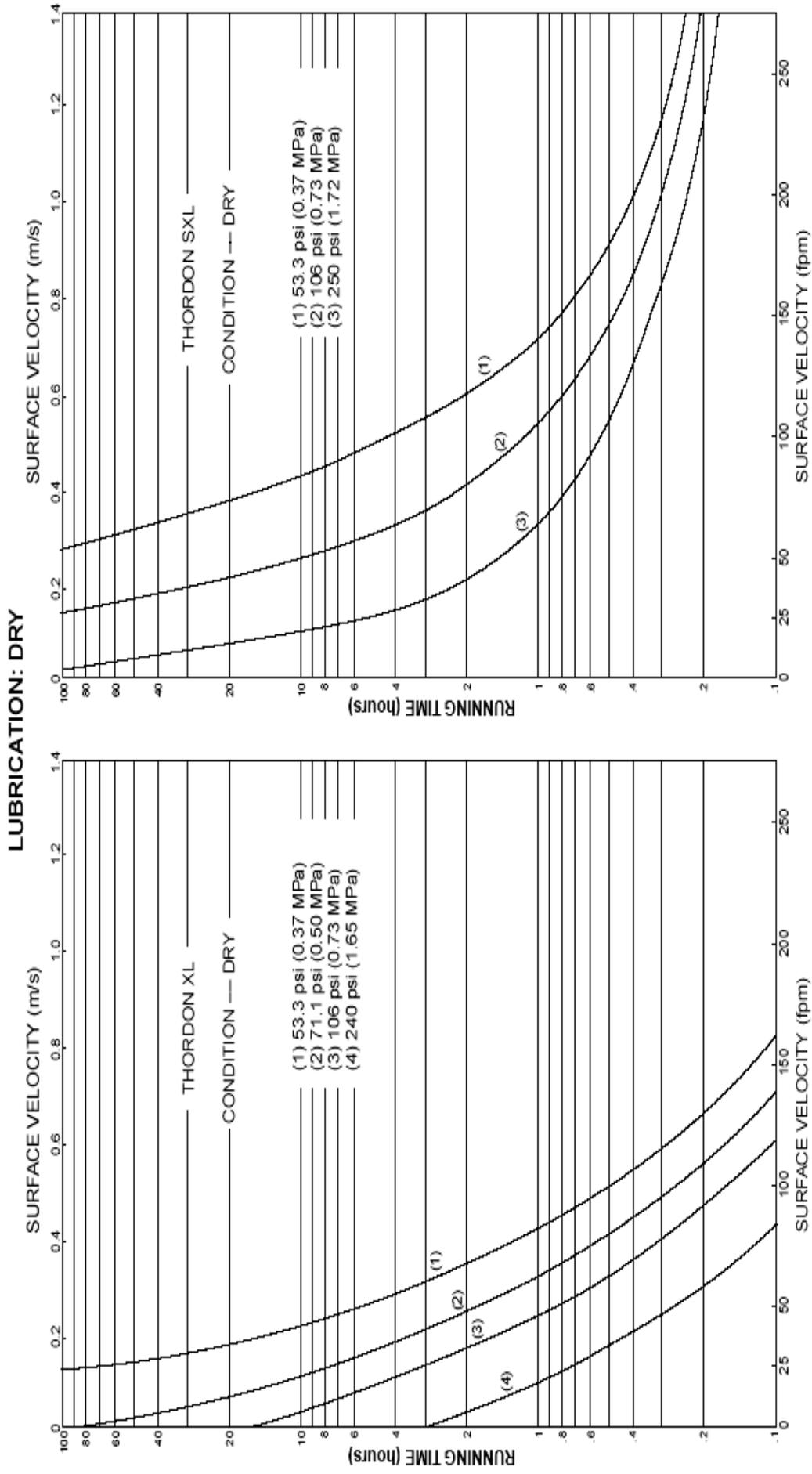


FIG. 12(a)
FIG. 12(b)

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

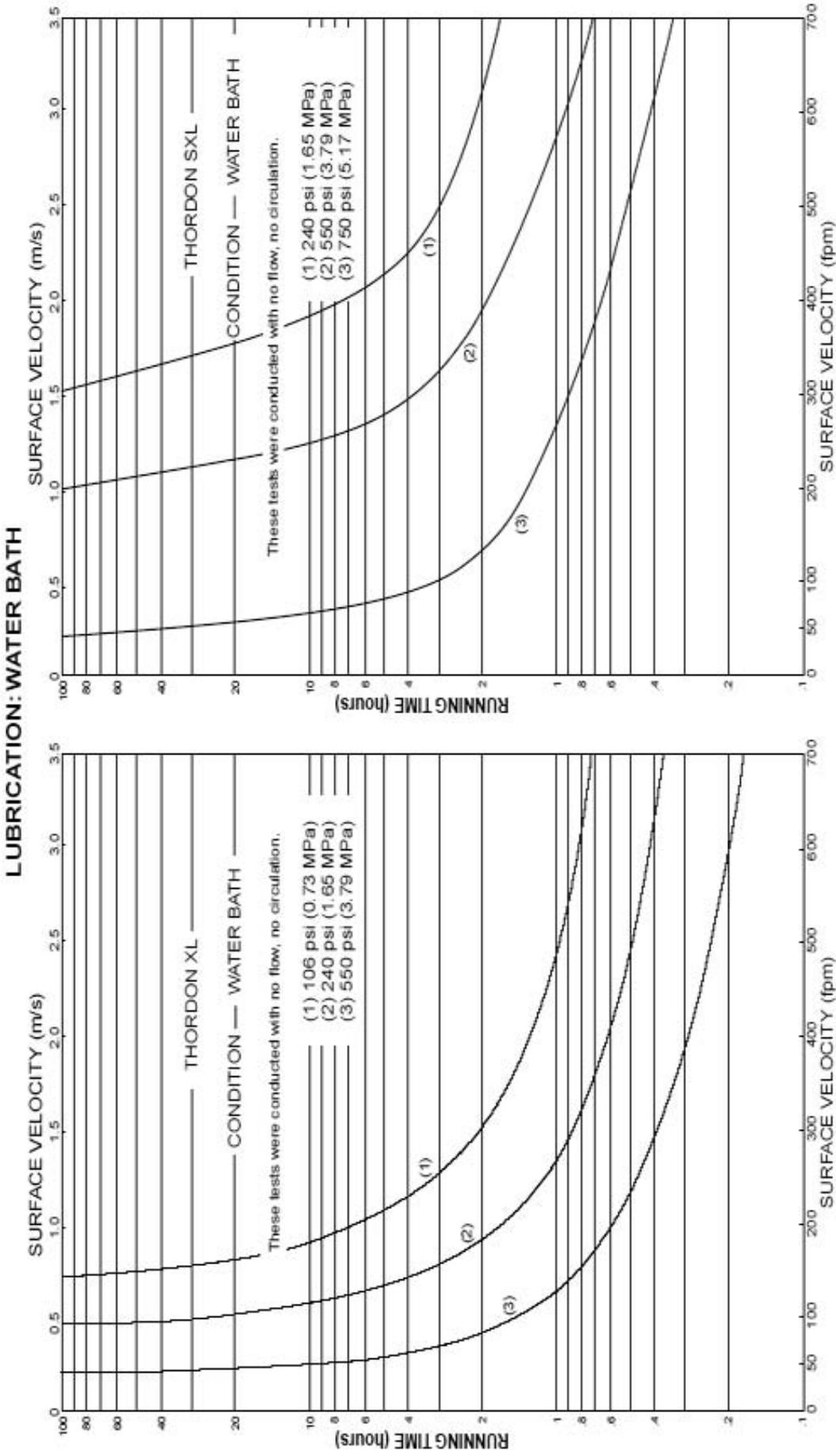


FIG. 12(c)

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

FIG. 12(d)

1.4.5 ÍNDICE DE LONGITUD/DIÁMETRO (L/D) (fig. 13)

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.

FUERZA DE FRICCIÓN DEL COJINETE VS RPM DEL EJE

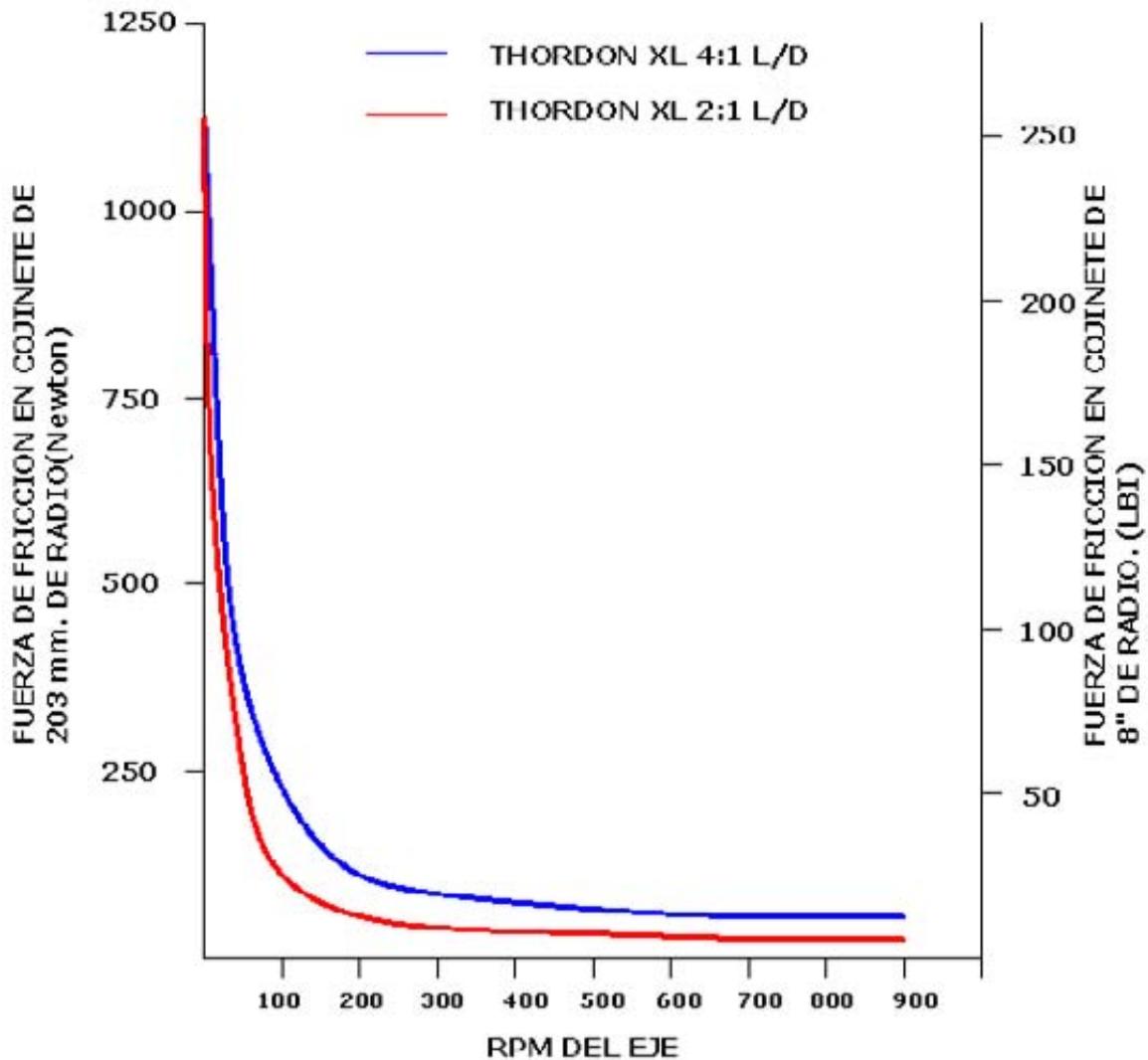


FIGURA 13

1.4.6 ESPESOR DE PARED (fig.14)

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.

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.

GRAFICO DEL ESPESOR MINIMO DE PARED RECOMENDADO
PARA AJUSTE DE PIEZAS ESTRIADAS Y NO ESTRIADAS

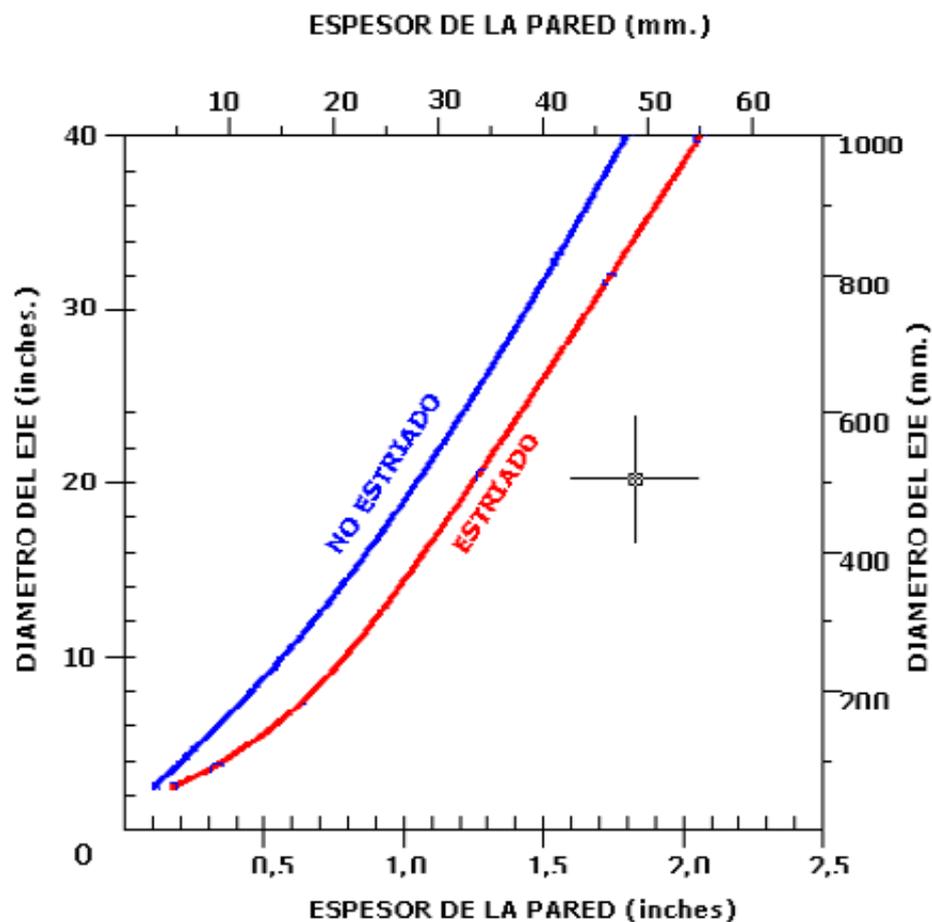


FIGURA 14

1.4.7 SUPERFICIE DE ACOPLAMIENTO (fig.15)

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.

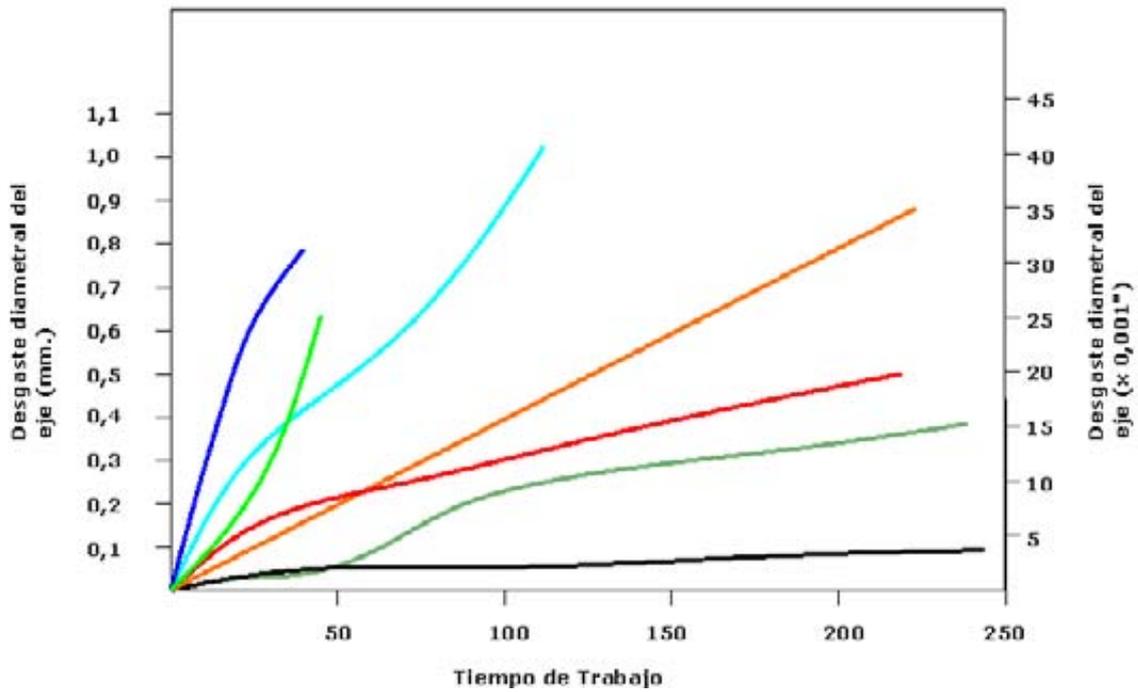
Las diferentes calidades de Thordon desgastan el eje en diferentes grados, pero los materiales más blandos tienden a desgastar menos el eje y exhiben menos desgaste combinado de cojinete y eje.

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.

Desgaste de materiales (encamisado)
contra el Thordon Composite



TITANIUM

AQUAMET 18

ACERO INOXIDABLE 420

ACERO INOXDABLE 316

ACEROS BLANDOS AL TUNGSTENO CON RECUBRIMIENTO DE CARBONO

ACEROS BLANDOS AL Ni-Cr-Bo.

LW-5 TUNGSTENO CON RECUBRIMIENTO DE CARBONO

FIGURA 15

1.4.8 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.

1) 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.

2) Ajuste por enfriamiento: (fig.16) 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.

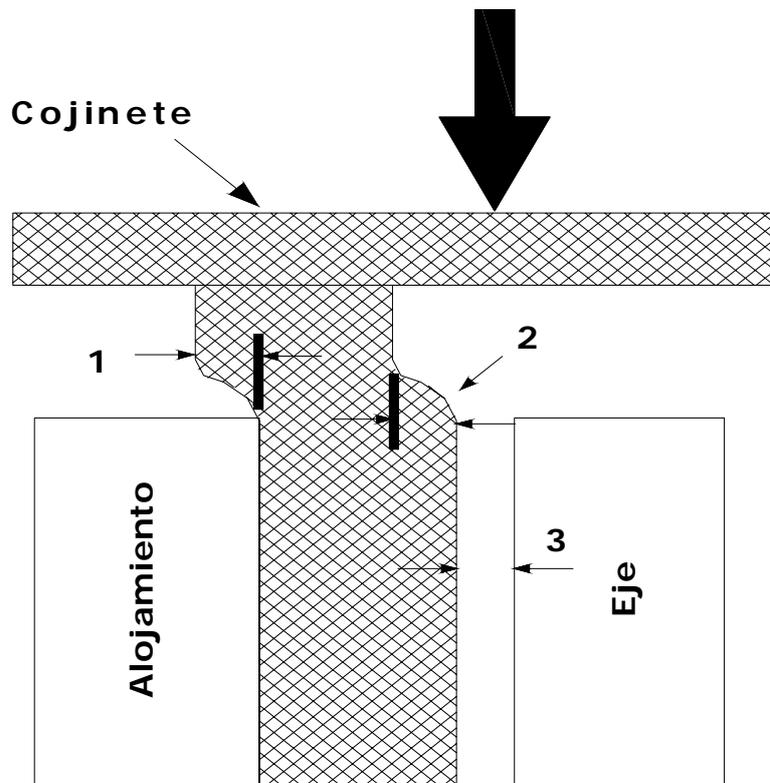
El hielo seco se debe empacar firmemente alrededor del cojinete, haciendo un buen contacto tanto con la superficie interior como la exterior. Después de 3 horas de haber estado empacado en hielo seco, se podrán chequear las dimensiones del cojinete para verificar si se ha contraído lo suficiente como 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.



La instalación de los cojinetes thordon es muy sencilla, se utilizan las técnicas de enfriamiento tomando en cuenta sus características y a demás las medidas de mecanizado.

PARAMETROS PARA AJUSTES DE PIEZAS



En donde:
(instalado)

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

Nota: El juego mínimo de trabajo
+ huelgo por expansión térmica
+ huelgo por absorción de agua

FIGURA 16.

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

1. 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

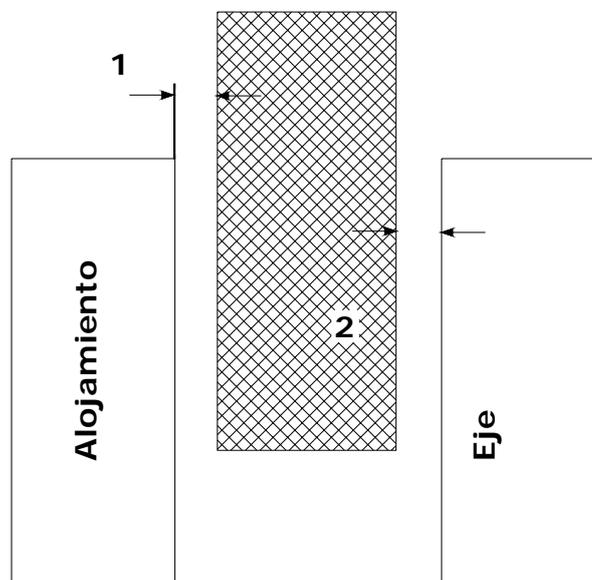
del cojinete (kg).

– 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.

3) Adherencia: fig.17 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 figura

PARAMETROS PARA AJUSTE POR ADHERENCIA



En donde:

1. Es el espesor por adherencia
2. Es el juego de trabajo instalado.

Nota: El juego mínimo de trabajo (instalado)
+ huelgo por absorción de agua
+ huelgo por expansión térmica

FIGURA 17.

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.

4) 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.

1.4.9 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")

1.4.10 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	COMPOSITIF	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)
	3XL	6.90	(1000)	13.80	(2000)

CUADRO 2

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 FARRICACIÓN	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 (A) (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. El thordon XL es el thordon utilizado en la embarcación pesquera a la cual nos referimos.



(A)

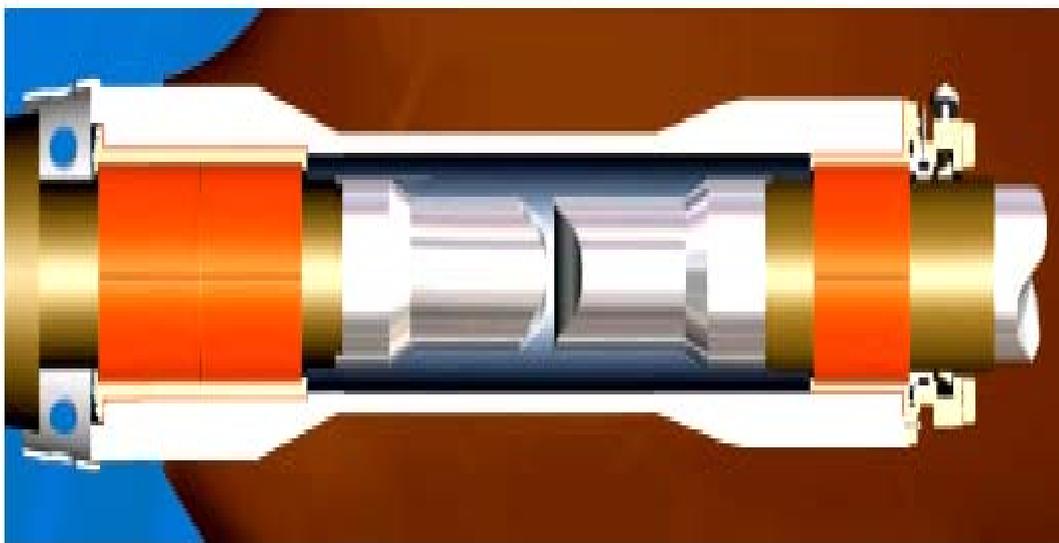
Thordon SXL (B) (Blanco) ofrece una capacidad superior para marcha en seco, un coeficiente bajo de fricción y una resistencia a la abrasión similar comparada a la del XL. SXL es la calidad más especial de Thordon y se usa en aplicaciones con cargas mayores en donde existe el riesgo de desgaste por adherencia. 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. 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.



(B)

Thordon COMPAC (C) (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.



(C)

Sus aplicaciones son principalmente en codaste de embarcaciones de gran calado, como cruceros, buques banqueros, graneleros, etc.

Thordon Composite (D) 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.



(D)

Los usos del thordon composite, son muy variados, desde tubos de codaste para embarcaciones, hasta cojinetes para las cabezas cortadoras (cutterhead) de las dragas.

PROBLEMAS, CAUSAS Y FALLAS.

Problema	Razón	Solución
1. Los cojinetes thordon se aflojan cuando están sometidos a una reducción de temperatura, aun cuando han sido diseñados para ello.	Cuando se instala un cojinete con ajuste entre piezas y luego se le somete a una rápida reducción de 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 choque termo, se deberá adherir el cojinete al alojamiento y sujetarlo mecánicamente.
2. Los cojinetes Thordon se aflojan en el alojamiento cuando estan sometidos a periodos largos con temperaturas entre 80°C y 100°C	El material ha eliminado el esfuerzo y ya no hay un ajuste adecuado entre piezas. Cuando la temperatura se reduzca, el cojinete se contraera y se aflojara en el alojamiento	se deberá adherir el cojinete al alojamiento y sujetarlo mecánicamente.
3. En ciertas aplicaciones, el cojinete tiende a "caminar" o moverse axialmente hacia fuera 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	Verificar que el cojinete este sujetado desde el punto de vista Axial con un freno o que el cojinete este adherido al alojamiento.
4. Un cojinete se adhiere al eje provocando un derretimiento de contacto	O no se permitió un juego suficiente o el valor convinado de PVT es demasiado alto	Verificar que el juego calculado es el correcto, teniendo en cuenta el huelgo de trabajo, la hinchazón por el agua y la expansión térmica, cuando corresponda. Tambien verificar 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 refrigerantes auxiliares.
5. El cojinete se frota y adquiere un aspecto esmerilado que cubre todo el diámetro interior o solamente el area de carga. El cojinete puede tener un aspecto agrietado o rajado.	El cojinete ha estado funcionando dentro del agua a temperaturas elevadas superiores a 60°C o con vapor. El cojinetes ha fallado debido a la hidrólisis que hizo que el material se ablande o se raje.	Enjuague el cojinete con agua a bajas temperaturas y no use vapor para limpiarlo o enjuagarlo.
6. El material del cojinete se separa como si hubiese deslaminado. La separacion ocurre cerca de la mital del espesor de la pared.	Acumulación de calor interno por impacto de alta frecuencia y la gran carga ha hecho 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 de los impactos.

1.5 DISEÑO SEGÚN LA APLICACIÓN

1.5.1 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

1.5.2 INTERFERENCIA (fig.18-19-20)

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 18

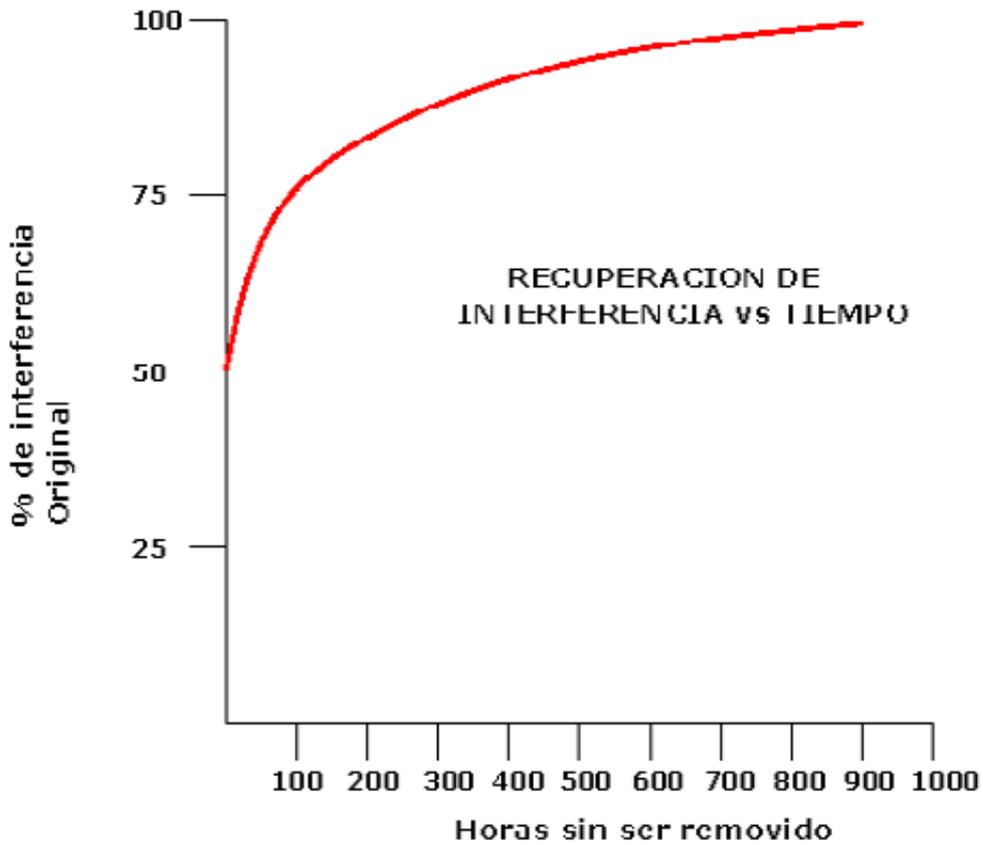


FIGURA 18.

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.

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 19 y 20) 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:

$$F \text{ (kg)} = \frac{\text{INTERFERENCIA (mm.)} \times \text{ESPESOR DE PARED (mm.)} \times 211}{\text{CALIBRE DEL ALOJAMIENTO (mm.)}}$$

$$F \text{ (lbs.)} = \frac{\text{INTERFERENCIA (pulg.)} \times \text{ESPESOR DE PARED (pulg.)} \times 30000}{\text{CALIBRE DEL ALOJAMIENTO (pulg.)}}$$

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

INTERFERENCIA EN EL ALOJAMIENTO THORDON XL (unidades metricas)

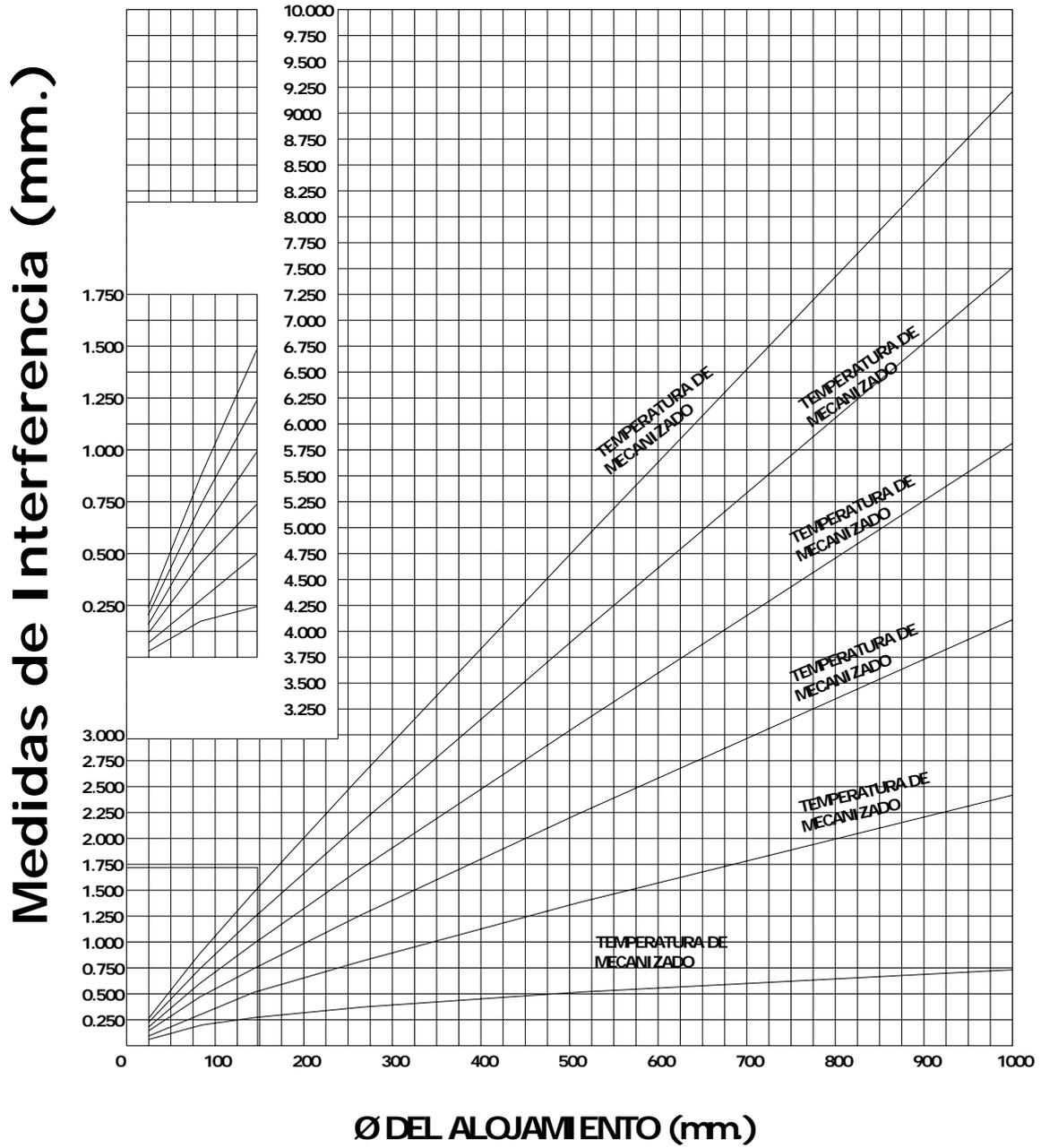


FIGURA 19

THORDON ELASTOMERIC PRODUCTS
HOUSING INTERFERENCE
GRADE SXL METRIC UNITS

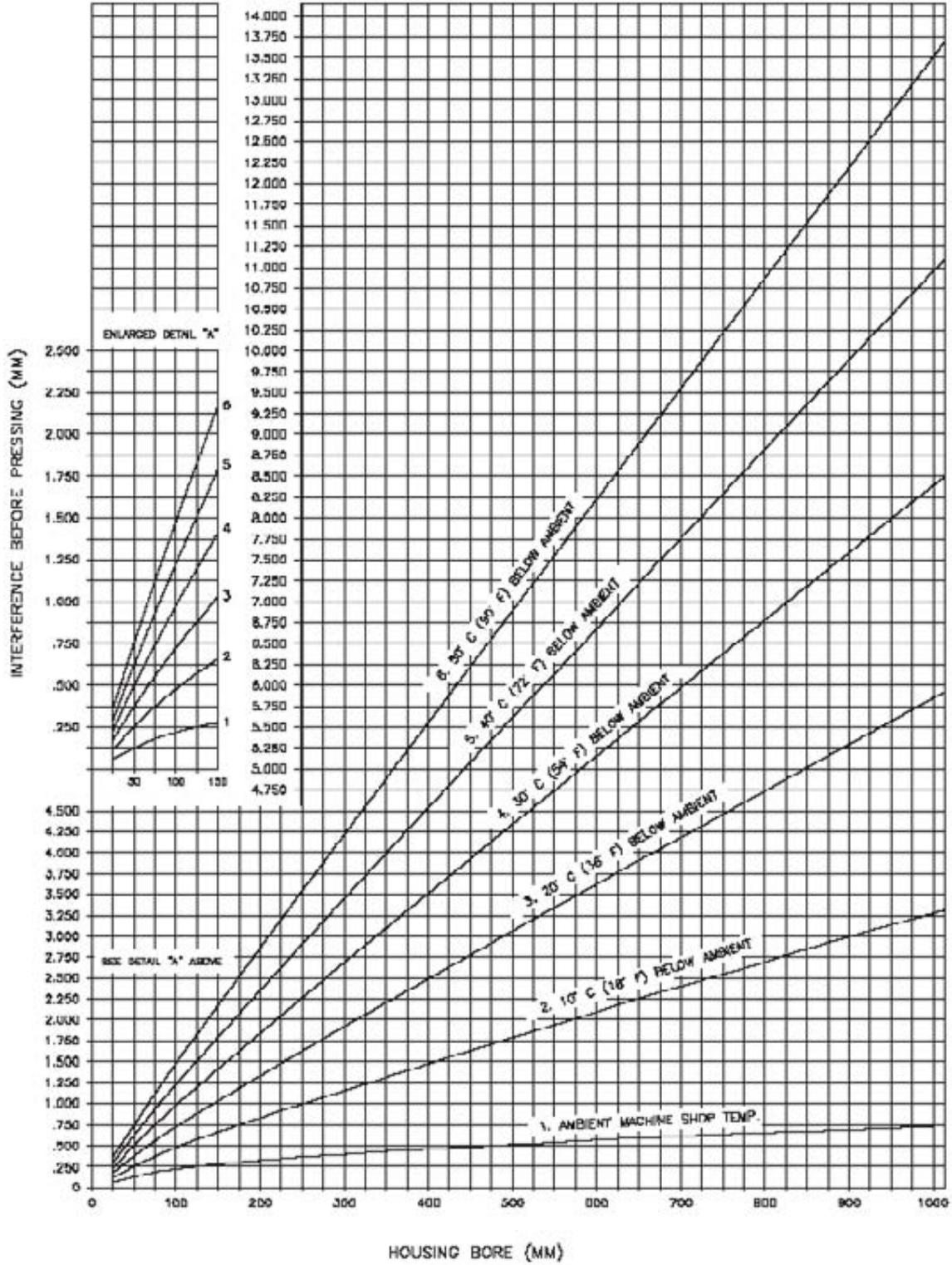


FIGURA 20

1.5.3 CIERRE DEL CALIBRE (fig.21-22)

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 21. Los resultados en el terreno son mixtos, y la mayoría se encuentra cerca de la Teoría A. La figura 22 refleja 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.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE CIERRE DE CALIBRE DE COJINETES THORDON

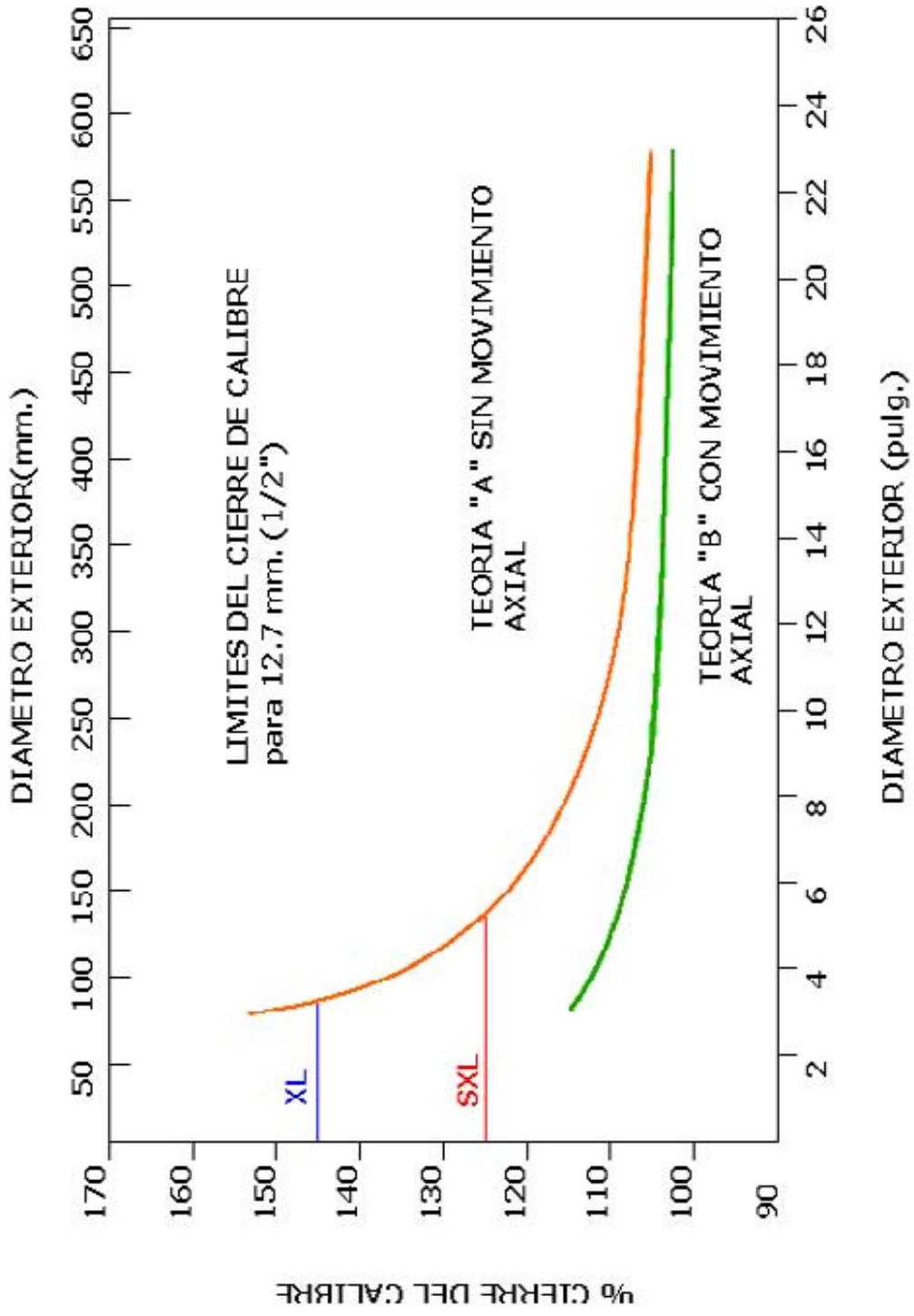
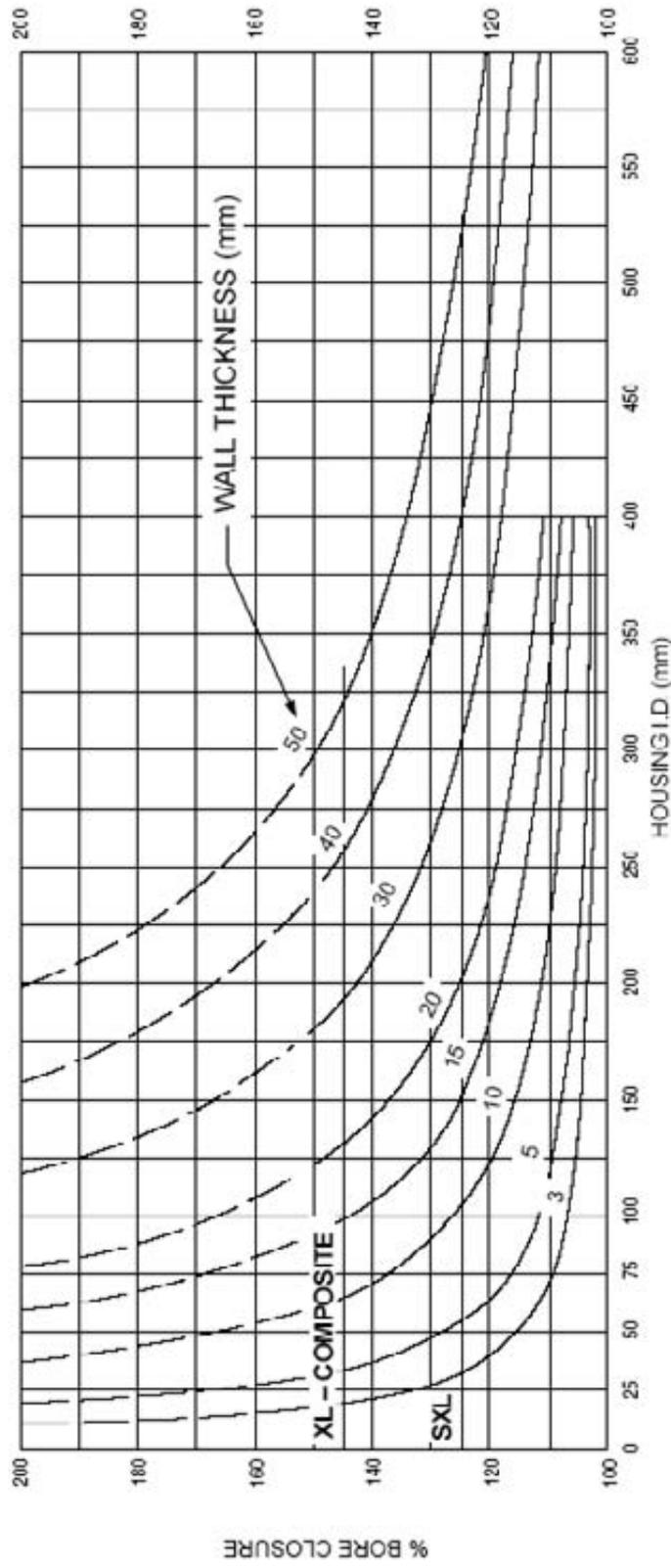


Fig 21

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



NOTE: This graph has been limited for use up to a maximum of 12.5% bore closure for SXL, and a maximum of 14.5% bore closure for XL.

FIG. 22

1.5.4 JUEGO DE TRABAJO (fig.23)

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. La Figura 23 ilustra 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 la Figura 23. Juegos de trabajo inadecuados provocan fallas de los cojinetes que se caracterizan por un diámetro interior del cojinete “borroso” o “borrado”.

**MINIMUM RUNNING CLEARANCE FOR THORDON BEARINGS
RELATED TO SHAFT DIAMETER
METRIC**

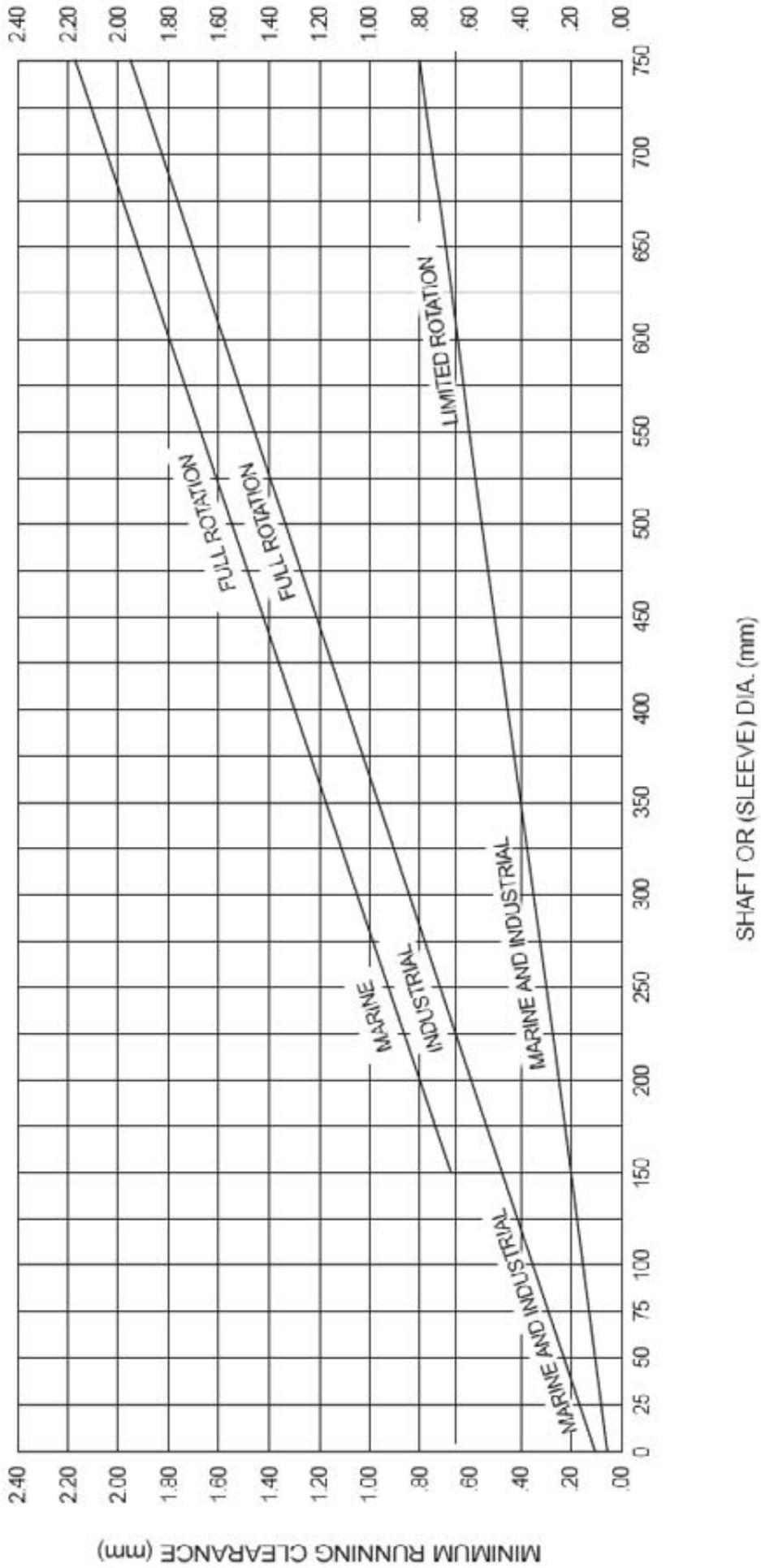


FIGURA 23

1.5.5 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.

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

En aplicaciones en donde el cojinete está sujetado 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:

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

1.5.6 HUELGO POR ABSORCIÓN DE AGUA (fig.24)

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 c 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:

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

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.

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

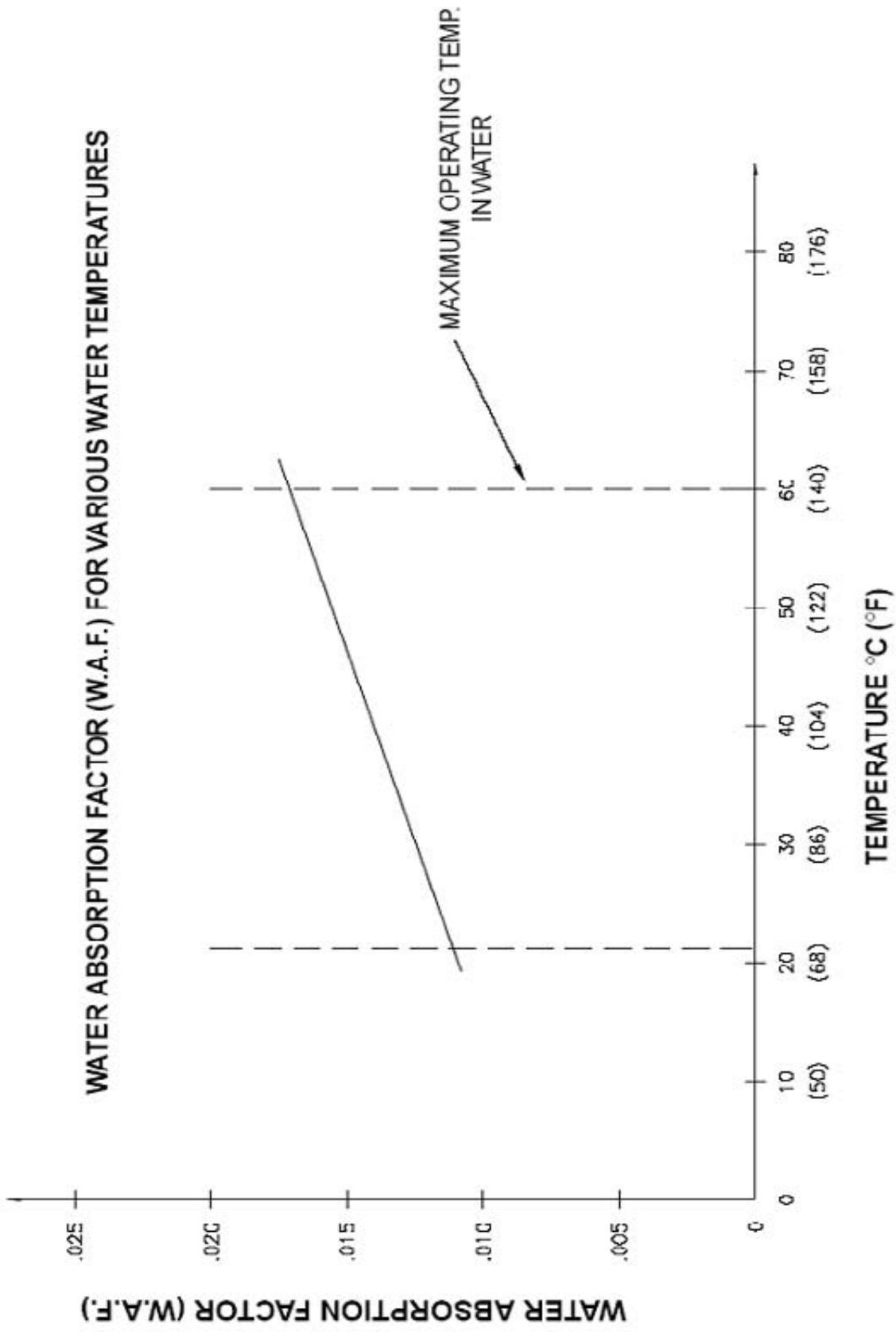


FIGURA 24

1.6 MAQUINADO Y MEDICIÓN

1.6.1 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.

1.6.2 MEDIDAS DE LAS DIMENSIONES Y DEL ACABADO

1) 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.

2) 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.

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)

CAPITULO II. CARENA ESTANDAR DE EMBARCACIONES PESQUERAS “PROCEDIMIENTO MAESTRANZAS NAVALES DE CALDERA”

El pesquero de altamar (P.A.M.) al cual me referiré en este capitulo tiene por nombre P.A.M. LOA-2 propiedad de la Pesquera Camanchaca, dicha embarcación cuenta con las siguientes características principales.

Eslora total:	120´-00”	36.56 m.
Manga Moldeada:	26´-00”	7.92 m.
Puntal	12-71/4”	3.84 m.
Capacidad de Bod.		350 m ³



Objetivo:

Durante la carena de una embarcación pesquera , se realizan trabajos, que se conocen como reparaciones mecánicas estándar, en las que se incluyen

- La revisión general en el tren propulsivo de la embarcación (línea de ejes y descansos)
- La revisión general del sistema de gobierno de la embarcación

Este capítulo tiene por objeto presentar los métodos utilizados en Maestranzas Navales de puerto caldera, para llevar a cabo con éxito el carenado mecánico de una embarcación pesquera.

2.1 REVISION GENERAL DEL TREN PROPULSIVO DE LA EMBARCACION (línea de ejes y descansos).

La principal razón por la cual las embarcaciones ingresan al dique es debido al exigente trabajo de las naves de cerco y de arrastre y por ende, el desgaste producido en los elementos de la propulsión es excesivo en un periodo aproximado de un año y medio.

La revisión de la propulsión comienza con la toma de claros (Figuras a-b-c-d-e) en los 5 descansos intermedios y a la vez en el descanso de popa (codaste), los que nos arroja un veredicto de reparación o cambio tanto de ejes como de descansos.

Los criterios con respecto a los claros están estipulados en el anexo F de directemar sección XI:

Calibramiento Propulsión para embarcaciones pesqueras:

Identificación del descanso	Claros admisibles	Claros de la subida	Claros de la bajada

1) Las reparaciones del eje mediciones finales Anexo E

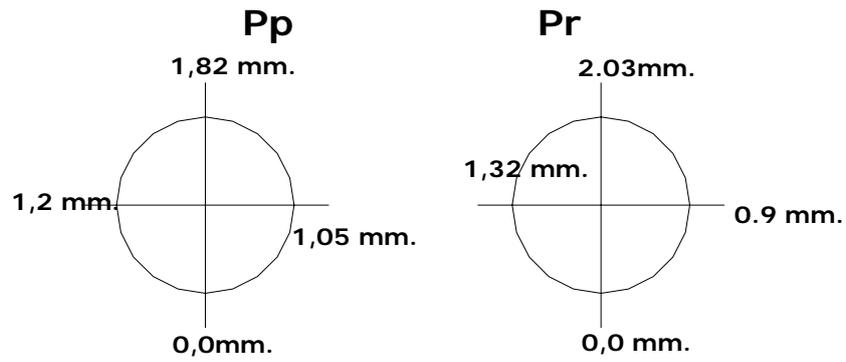
- 2) Alineación final de la línea de descansos de los ejes ANEXO E-1
- 3) Se controlara la caída en periodo de carena, desmontándose cuando exceda los límites permisibles o las secuencias estipuladas por las sociedades de clasificación.
- 4) Ejes con sistemas de empaquetaduras de codaste de diseño especial, se deberán desmontar si se aprecian indicios de filtración de lubricantes contenido en el tubo codaste
- 5) Al desmontar el eje portahelice se deberán efectuar pruebas de detección de grietas en su cono, hilo de tuerca de amarre de la hélice y el canal de la chaveta y verificar si sus camisas están fuertemente adheridas
- 6) Las camisas de bronce continuas o encamisadas en sectores de apoyo, deben ser de buena calidad de fundición, libre de poros y defectos de moldeo.
- 7) Las camisas de bronce podrán rectificarse hasta un máximo de 27 % del espesor original. Las camisas de fibra de vidrio deben ser retiradas y examinadas cada 4 años o cuando se aprecien deterioros, examinándose en la sección del eje protegidas por ellas.
- 8) El limite máximo de desgaste del metal blanco antifricción será:

0,015D+0,65	Claros permisibles en función del diámetro
0,01D+0,5	Claros permisibles en función del diámetro

- 9) El eje portahelice lubricado con aceite se deberá examinar anualmente para verificar el contenido de agua y de partículas de material en el aceite.
- 10) En cojinetes de guayacán y de materiales plásticos estratificados, el huelgo no debe ser superior a $0,01D + 3 \text{ mm}$ o a 8 mm . Para ejes portahelices mayores a 500 mm .
- 11) En cojinetes de bronce el huelgo no debe ser superior al 3% del diámetro
- 12) En ejes portahelices y de empuje serán confeccionados en acero forjado con resistencia a la tensión de $400 \text{ a } 600 \text{ N/mm}^2$

Las figuras siguientes representan los claros que tenia cada uno de los descansos intermediarios. Los descansos fueron retirados debido a que estaban fuera de norma con respecto al anexo F de directemar, donde se hace mención a los claros admisibles para el metal blanco antifricción. Los claros maximos permisibles dependiendo del diámetro estan dados por: $0,01D + 0,5 \text{ mm}$.

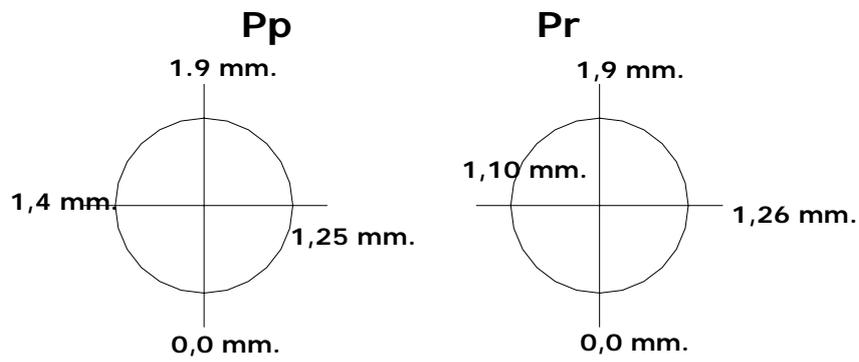
CLAROS DE LOS DESCANSOS INTERMEDIOS DE LA EMBARCACION



\varnothing DEL PUÑO 121,6 mm.

DESCANSO N° 1

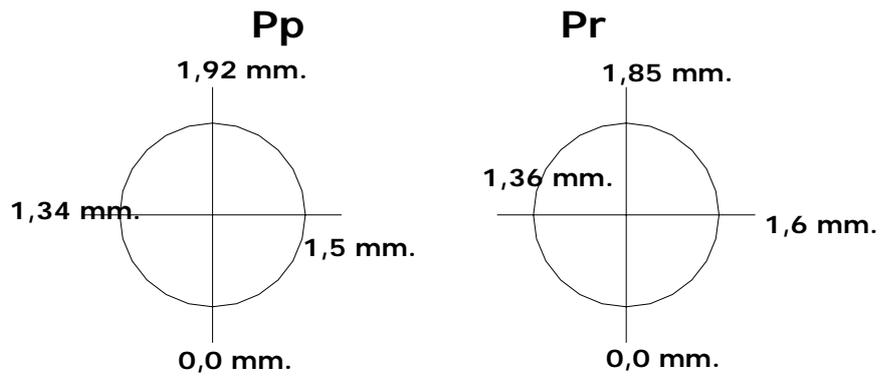
Fig. a



\varnothing DEL PUÑO 125,9 mm.

DESCANSO N° 2

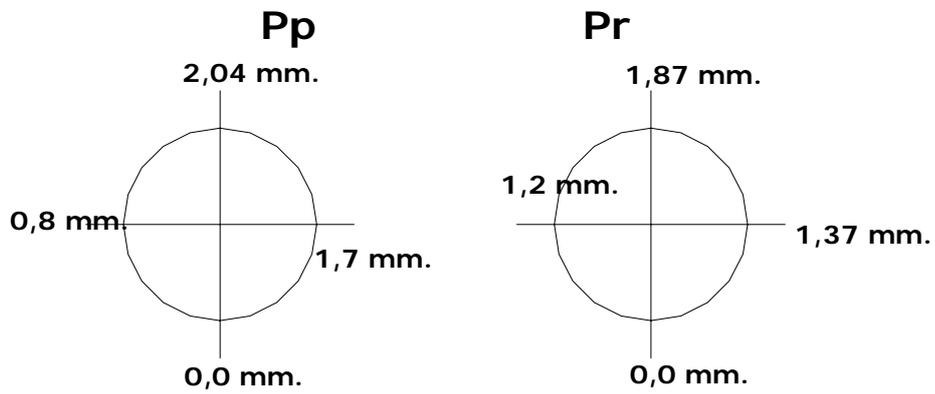
Fig. b



\varnothing DEL PUÑO 121,8 mm.

DESCANSO N° 3

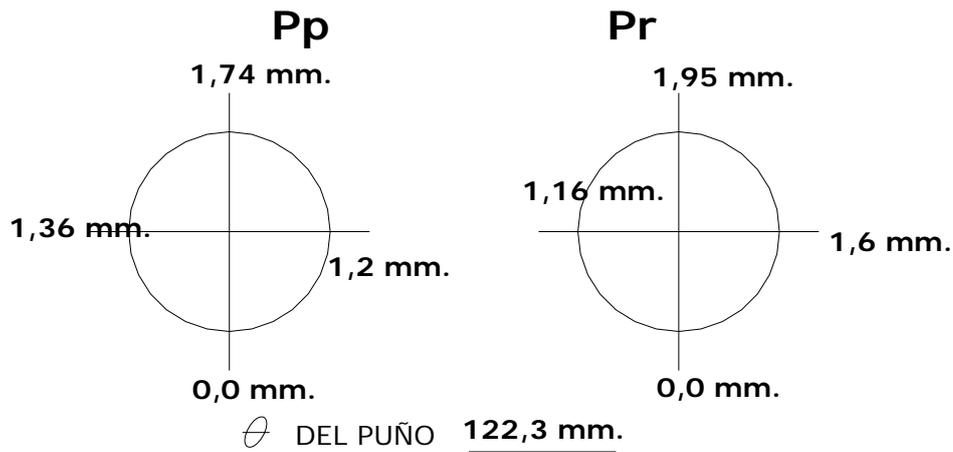
Fig. c



\varnothing DEL PUÑO 126,0 mm.

DESCANSO N° 4

Fig.d



DESCANSO N° 5

Nota: Se debe tener en cuenta que los claros admisibles para el metal blanco antifricción para cada descanso son:

CLAROS ADMISIBLES EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL PUÑO		
DESCANSO	Diámetro del Puño mm.	$0.01D + 0.5$ mm.
1	121,6	1,716
2	125,9	1,759
3	121,8	1,718
4	126	1,76
5	122,3	1,723

Fig.e

2.1.1 Retiro de la línea de ejes y Descansos: (fig.1)

Una vez conocido el resultado de la revisión previa, se procede al retiro de la línea de ejes (fig.1). Este procedimiento es complejo debido a la configuración estructural de la embarcación, a demás que las maniobras se realizan con la ayuda de tecles y grúas.

Durante este proceso, se recurre al corte de los pernos de anclaje de los descansos intermedios, así como de los machones de acoplamiento para agilizar el proceso de reparación.

Los pernos utilizados para el anclaje de la propulsión son ^(*)**pernos de acero grado SAE del N°5** debido a su esfuerzo de ruptura que es de 120 kPSI. El material de dichos pernos es acero al carbono, templado y revenido

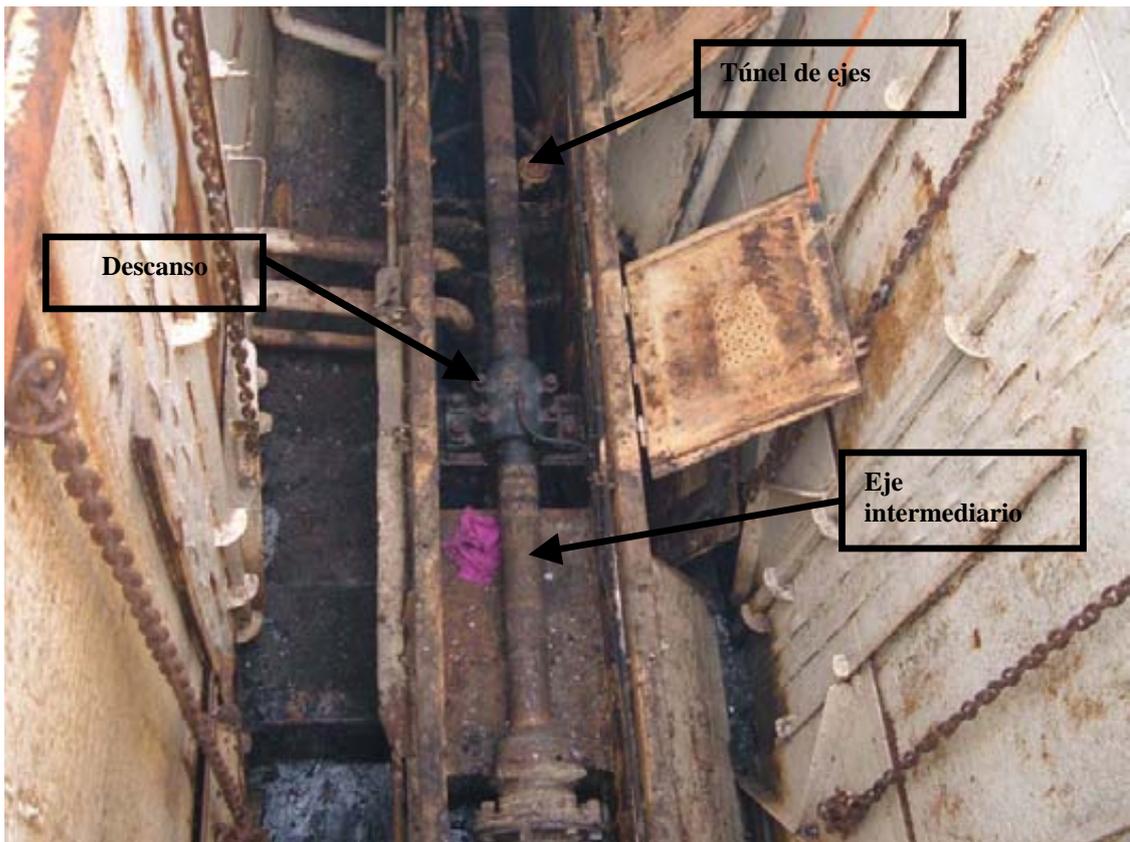


Fig. 1

Una vez retirada la propulsión, se procede al desarme de la misma, esto consiste en sacar los descansos intermedios de los ejes, para luego trabajar en el retiro del metal blanco desgastado de los descansos.

2.1.2 Mantencion de los descansos que soportan los ejes intermedarios (fig.2-3):

2.1.2.1 Retiro del metal blanco.

El metal blanco es retirado calentando los descansos, se debe en cuenta siempre el material al cual se le retira el metal, puesto que si son descansos fundidos, los cambios bruscos de temperatura pueden ocasionarles fisuras, provocando un posterior quiebre durante la operación del mismo.

El metal blanco es retirado a una temperatura que en la práctica asciende a los 200° C aproximadamente, esta temperatura se logra con una llama de calentador que se aplica directamente al descanso.

^(*)**Nota: Se anexa tabla de resistencias de pernos.**

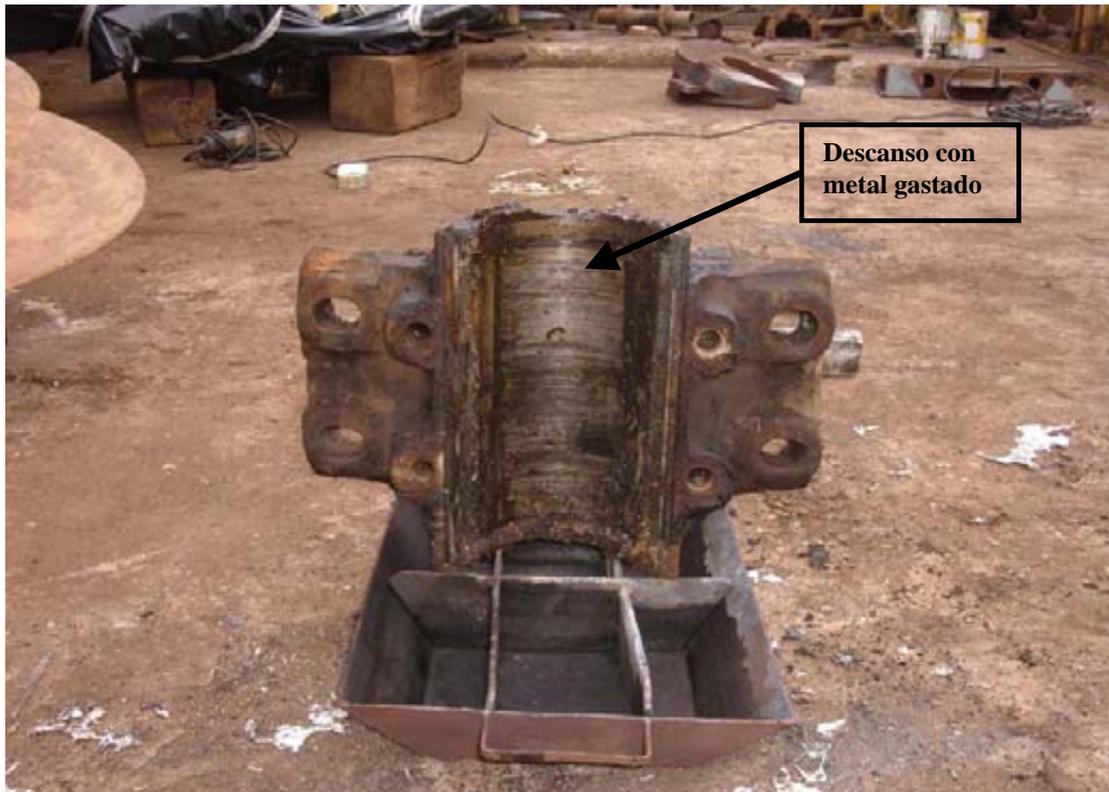


fig.2 muestra un descanso recién desarmado y preparado para el retiro de metal.

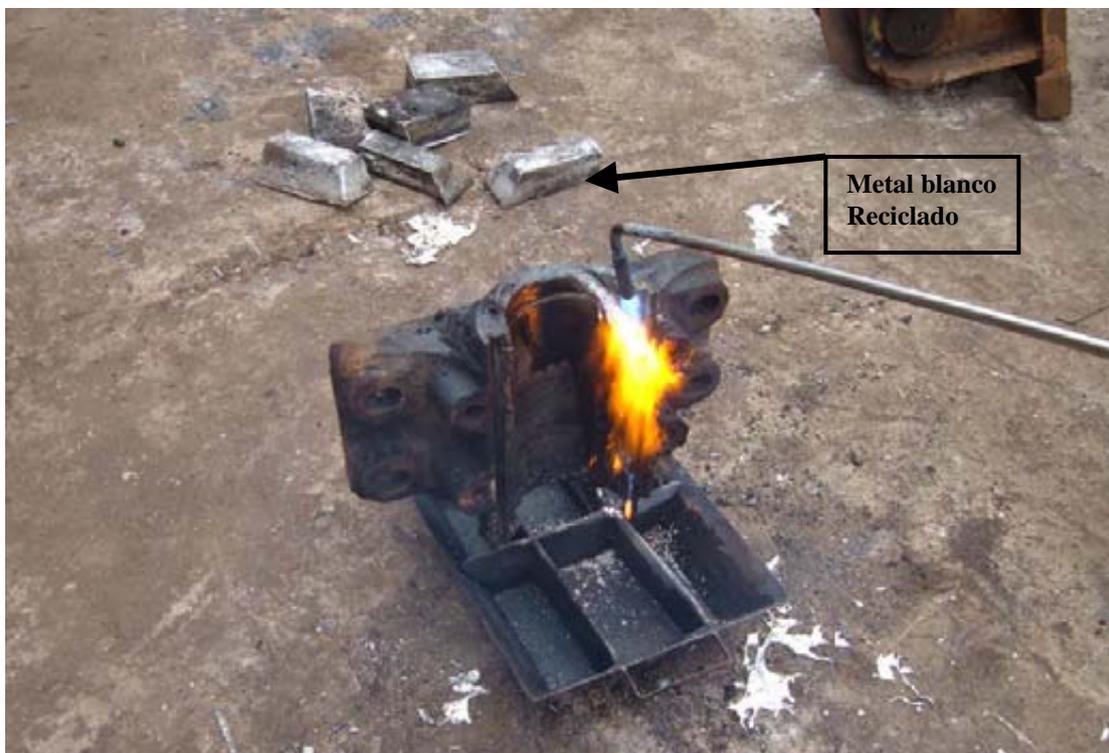


Fig.3

En la fig.3 se observa como el calentador va retirando con su alta temperatura el metal del descanso.

2.1.2.2. Arenado de los descansos: (fig.4-5)

El proceso de adherencia del metal blanco en los descansos, se conoce como adherencia por impacto, esto se consigue gracias a la temperatura de fundición, así como también a la temperatura que el descanso posee a la hora de realizar el vaciado del metal.

Todo esto es posible siempre y cuando el descanso este 100% libre de impurezas, de grasa, arena o aceite; esto se obtiene gracias a un (*)**arenado tipo SA-2** que es el arenado con granalla a alta presión.

El resultado de este arenado es plenamente visible, en las siguientes fotos se muestra sus características.



La fig.4 muestra la tapa de un descanso, antes de ser arenado.

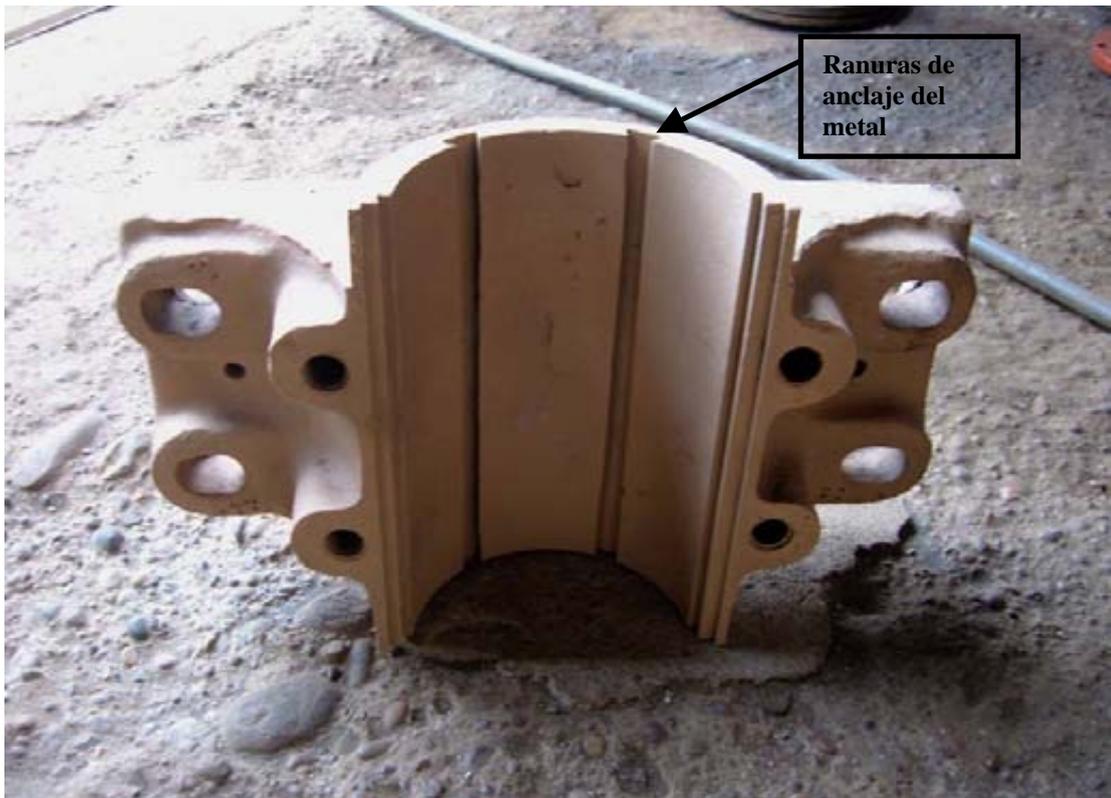


Fig.5

La fig. 5 muestra la base de un descanso después de ser arenada, en ella se observa que el material queda libre de impurezas.

2.1.2.3 Armado de los descansos para el metalado: (fig.6-7-8)

Los descansos son armados y son colocados sobre elementos de fijación (fig.6) que mantienen estático al descanso durante el proceso de metalado. Estos consisten en un disco de 25 mm. De espesor y diámetro 400mm. Con una cañería Schedule 80 y diámetro 90 mm. . Hay que agregar que es necesario aplicarles a estos objetos metálicos una sustancia denominada (*)**plumbagina** que al mezclarse con vinagre evita la adherencia del metal.

El relleno del descanso con metal blanco, se debe realizar manteniendo una temperatura adecuada en el descanso, pero de igual manera es necesario tapar todos los intersticios por donde pueda salir el metal, debido a que esto ocasiona porosidades en el que solo se pueden observar a la hora del mecanizado. Los intersticios son tapados con un (*)**carbifix**, material que al aumentar su temperatura se endurece evitando la salida del metal de todo el conjunto metalado.

(*) Nota: Las palabras se encuentran en glosario

Partes del elemento fijador de los descansos.

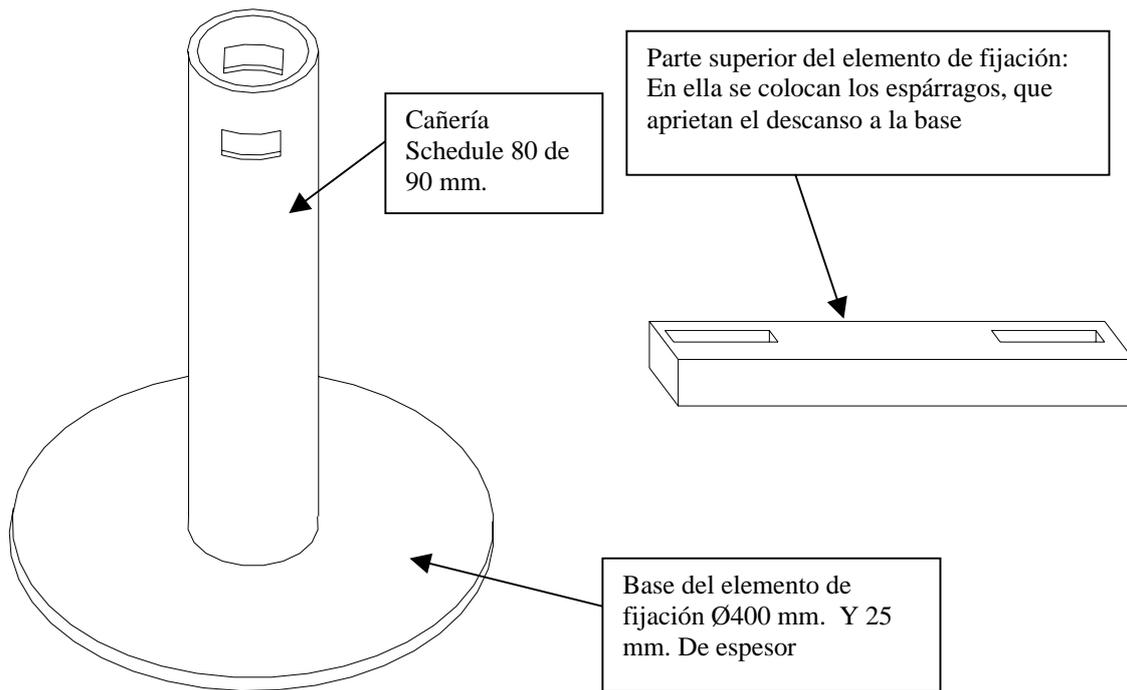


Fig.6

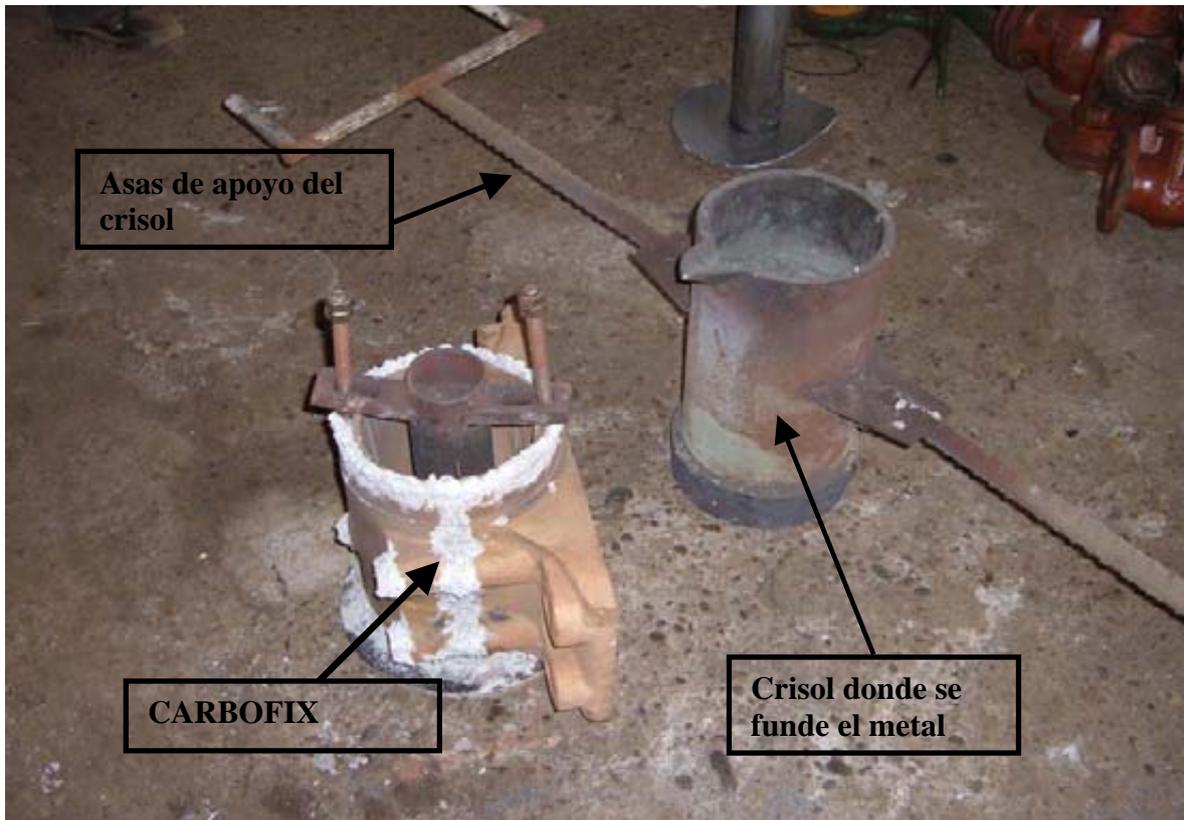


Fig.7

En la figura a continuación se muestra un descanso listo para ser metalado, armado en su correspondiente elemento de fijación y con el carbofix listo.

La tapa y la base del descanso están separadas por una placa de cobre de 3 mm. (1/8") (fig.8) para que de este modo cuando el metal se halla enfriado no sea difícil desmontar los descansos y separar la tapa y la base, tal como se muestra en la fotografía siguiente.



Fig.8

2.1.2.4. Fundición y aplicación de la colada de Metal blanco antifricción (Fig.9-10-11-12-13-14)

1. Introducción del metal blanco antifricción

Las aleaciones antifricción son aleaciones más o menos complejas, utilizadas para recubrir las superficies de fricción de los cojinetes, elementos encargados de soportar pesos y empujes en las máquinas. Estos elementos se componen de dos constituyentes: uno duro que resiste el desgaste, y uno blando que permite el ajuste y reparte las cargas a lo largo de toda la superficie del cojinete; y las aleaciones antifricción, observadas bajo microscopio, se aprecian cristales de aleación dura sumergidos en una masa de aleación blanda.

Algunas de las **características fundamentales** que deben poseer las aleaciones antifricción son: **Plasticidad**, para que se deformen fácilmente cuando se produzcan desalineaciones del eje y para que puedan soportar choques.

- **Resistencia a la compresión**, para aguantar las cargas normales y axiales que deben soportar los cojinetes.
- **Resistencia al desgaste**, con una dureza siempre menor o igual a la del material del eje, para que exista pulido mutuo en vez de erosión de uno de los dos.
- **Resistencia a la corrosión**, que pueden provocar los agentes lubricantes.

- **Conductividad calorífica** que permita disipar el calor producido por el rozamiento.
- **Bajo punto de fusión** para evitar el fenómeno de agarrotamiento o gripado (unión por fusión de los metales en contacto), al fundirse la aleación antes de estropear el eje.

De acuerdo a su composición se pueden clasificar de la siguiente manera:

1.1 Aleaciones antifricción blancas.

Se distinguen esencialmente de las anteriores en que su textura está formada por una masa fundamental blanda, en el cual se encuentran incrustado cristales duros. Los ejes no necesitan estar ajustados con tanta exactitud como los cojinetes de aleación amarilla, pues la masa fundamental blanda se desgasta con la marcha de modo que los cristales duros dispuestos por grupos son los que al fin y al cabo sostienen al eje. Si la presión del cojinete es mayor, los cristales duros se aplastan y la superficie de apoyo se aumenta, con lo que la presión unitaria se hace menor. Además de su bajo punto de fusión tiene la ventaja de que en caso de calentarse el cojinete no hay desgaste sino que el metal se funde.

1.2 Aleaciones antifricción a base de Plomo y Estaño.

Metal BABBIT es un término genérico para designar aleaciones suaves con base de estaño y plomo, que se funden como superficies de cojinete o apoyo en tapas o respaldos de acero, bronce o hierro fundido. Los Babbit tienen excelente capacidad embebedora (o sea de encerrar o enclavar dentro de sí las partículas extrañas) y conformabilidad (capacidad para deformación plástica y compensar las irregularidades en el cojinete).

Dentro de los metales babbit de aleaciones blancas tenemos distintos tipos de aleaciones, que van acorde con el trabajo que realizan.

Entre las aleaciones antifricción más importantes tenemos las siguientes:

Antifricción al estaño,(BABBIT). Están formadas por 64-93% de Sn, 4-13% de Sb y 3-10% de Cu.

Antifricción al plomo, están formadas por: 74-90% de Pb, 0-10% de Sn, 10-15% de Sb y 0.5-1.5% de Cu. Poseen buenas cualidades antifricción, pero presentan dos inconvenientes: poseen poca elasticidad, por lo que son propensas a rotura por fatiga; y son delicadas de fundir y moldear. No obstante, son más económicas que las anteriores.

Y en general, todas las aleaciones a base de cobre, plomo, estaño y antimonio presentan buenas cualidades antifricción, cumpliendo con las características reseñadas.

Son aleaciones ternarias de plomo, antimonio y estaño en las que se aprovecha el bajo coeficiente de fricción del plomo, si es con base plomo es: 75%Pb, 10%Sb, 10%Sn.

En el cuadro que a continuación se muestra se puede observar el porcentaje de elementos presentes en las aleaciones blancas antifricción.

PORCENTAJE DE ELEMENTOS EN LAS ALEACIONES DE METAL BLANCO																			
Nº	Estañio %			Antimonio %			Plomo %			Cobre %			Arsenico %			Fe%	Bi%		
	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.				
1	90	91	92	4	4,5	5	-	-	0,35	4	4,5	5	-	-	0,1	0,08	0,08		
2	88	89	90	7	7,5	8	-	-	0,35	3	3,5	4	-	-	0,1	0,08	0,08		
3	83	84	85	7,5	8	8,5	-	-	0,35	7,5	8	8,5	-	-	0,1	0,08	0,08		
4	74	75	76	11	12	13	9,3	10	10,7	2,5	3	3,5	-	-	0,15	0,08	-		
5	64	65	66	14	15	16	17	18	19	1,75	2	2,25	-	-	0,15	0,08	-		
6	19	20	21	14	15	16	62,5	63,5	64,5	1,25	1,5	1,75	-	-	0,15	0,08	-		
7	9,3	10	10,7	14	15	16	74	75	76	-	-	0,5	-	-	0,6	0,1	-		
8	4,5	5	5,5	14	15	16	79	80	81	-	-	0,5	-	-	0,2	-	-		
10	1,75	2	2,25	14	15	16	82	83	84	-	-	0,5	-	-	0,2	-	-		
11	-	-	-	14	15	16	84	85	86	-	-	0,5	-	-	0,25	-	-		
12	-	-	-	9,3	10	10,7	89	90	91	-	-	0,5	-	-	0,25	-	-		
15	0,75	1	1,25	14,5	14	17,5	Remanente			-	0,5	0,7	0,8	1	1,4	-	-		
16	9	10	11	11,5	12,5	13,5	Remanente			0,4	0,5	0,6	-	-	0,2	0,5	-		
19	4	5	6	8	9	10	Remanente			-	-	0,5	-	-	0,2	-	-		

ALEACIONES A BASE DE ESTAÑO

ALEACIONES A BASE DE ESTAÑO

Metal Blanco A:

Esta aleación se emplea para trabajos forzados y en altas velocidades como así también para temperaturas elevadas; se puede utilizar para velocidades superiores a las 2.000 rpm. con cargas extremadamente altas y gran resistencia a la compresión, se usa para motores diesel marinos, turbinas, máquinas de vapor.

Metal Blanco B:

Esta aleación se emplea donde las velocidades superan las 2.000 rpm. Con cargas medianas y temperaturas superiores a las 70°C. Se utiliza para motores a explosión de grandes y bajas potencias ya sea de 2T como de 4T, motores eléctricos, ventiladores, forzadores y todo tipo de máquina industrial con media velocidad.

Metal Blanco C:

Este metal se emplea donde las velocidades no superan las 1.500 rpm. y con cargas extremadamente altas. Se utiliza para máquinas pesadas, molinos, ascensores, moliendas, vagones, válvulas y todo tipo de máquina industrial donde las velocidades no son extremadamente altas.

Metal Blanco D:

Este es el más económico de todos los metales blancos, pero dadas sus características físicas se emplea para máquinas pesadas con bajas velocidades no pasando éstas de las 700 rpm. Hasta 90°C. El metalado de los descansos intermedios, a los cuales nos referimos en este trabajo se realiza con el metal blanco del tipo D, debido a sus características físicas y bajo costo.

DENOMINACION	MARCA	% COMPOSICION				DIFERENCIAS ADMISIBLES				kg/dm ³
		Sn	Sb	Cu	Pb	Sn	Sb	Cu	Pb	
METAL BLANCO A	WN 80F	80	11	9	-	1	1	1	0,5	7,5
METAL BLANCO B	WM80	80	12	6	2	1	1	1	1	7,5
METAL BLANCO C	WM10	10	15,5	1	73,5	0,5	1	0,5	1	9,7
METAL BLANCO D	WM5	5	15,5	1	78,5	0,5	1	0,5	1	10,1

2. Proceso de Fundición y metalado ejecutado

El proceso de fundición del metal blanco es demasiado delicado, en cuanto a seguridad del trabajador se refiere, puesto que este metal requiere de altas temperaturas, y cualquier objeto que toque su superficie puede ser un peligro.

Los descansos deben ser cuidadosamente calentados y de este modo evitar un cambio brusco en la temperatura del metal al hacer contacto con el material del descanso, provocando un efecto parecido al aceite caliente con agua. La temperatura ideal del material del descanso(fig.9) para la aplicación de la colada de metal blanco se encuentra entre los 100°C y 150°C dependiendo del material del descanso y del ambiente en que se encuentre.

- Para el descanso de fierro fundido . aprox. 100°C.
- Para los descansos con bronce hasta unos 150°C.

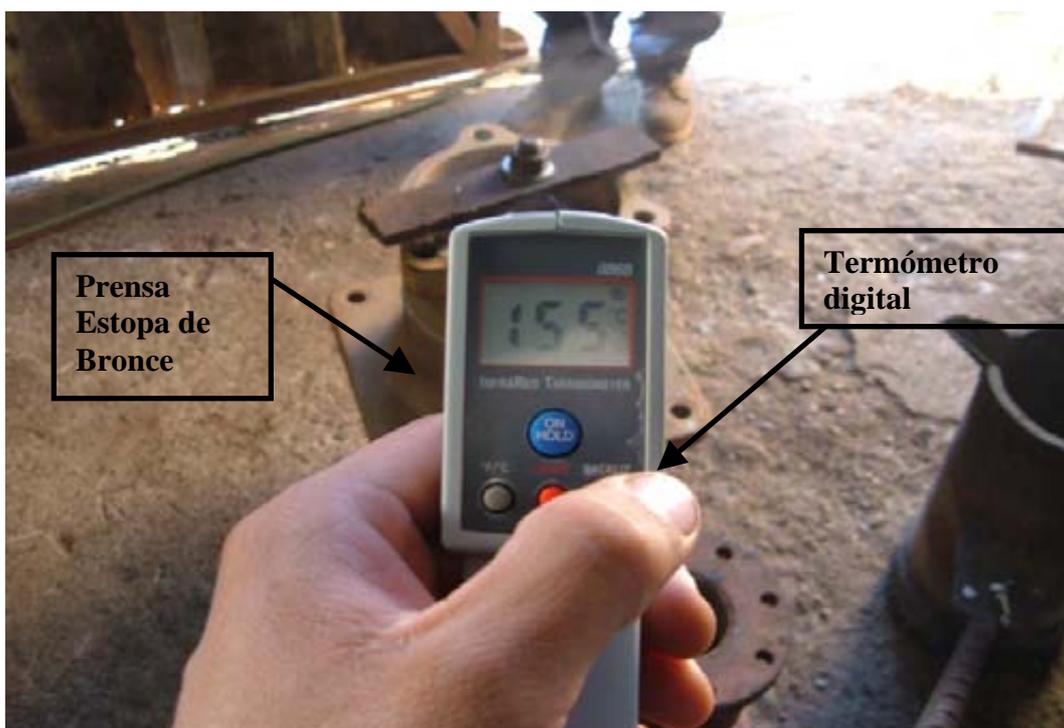


Fig.9

El metal blanco se funde se encuentra entre los 350°C y 400°C. tomando en este rango de temperaturas un color medio amarillento (fig.10).



Fig.10

Temperatura de la colada, antes de ser aplicada al descanso. 418°C



Fig.11

Temperatura del metal una vez agregado al descanso 317°C,

En la fig. 12 se muestra un descanso recién metalado y en espera a ser desarmado nuevamente para ser enviado a mecanizar acorde a la medidas de los puños o (alfileres) de los ejes.

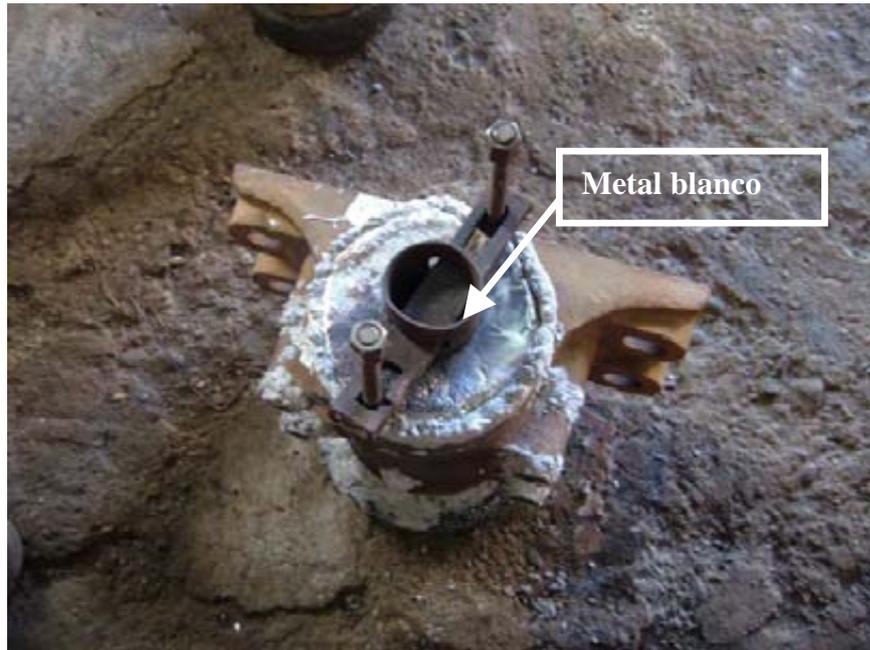


Fig.12

En las (figuras 13-14) fotos que a continuación mostrare se puede observar un descanso antes del mecanizado y después del mecanizado



Fig.13 Antes de ser Mecanizado

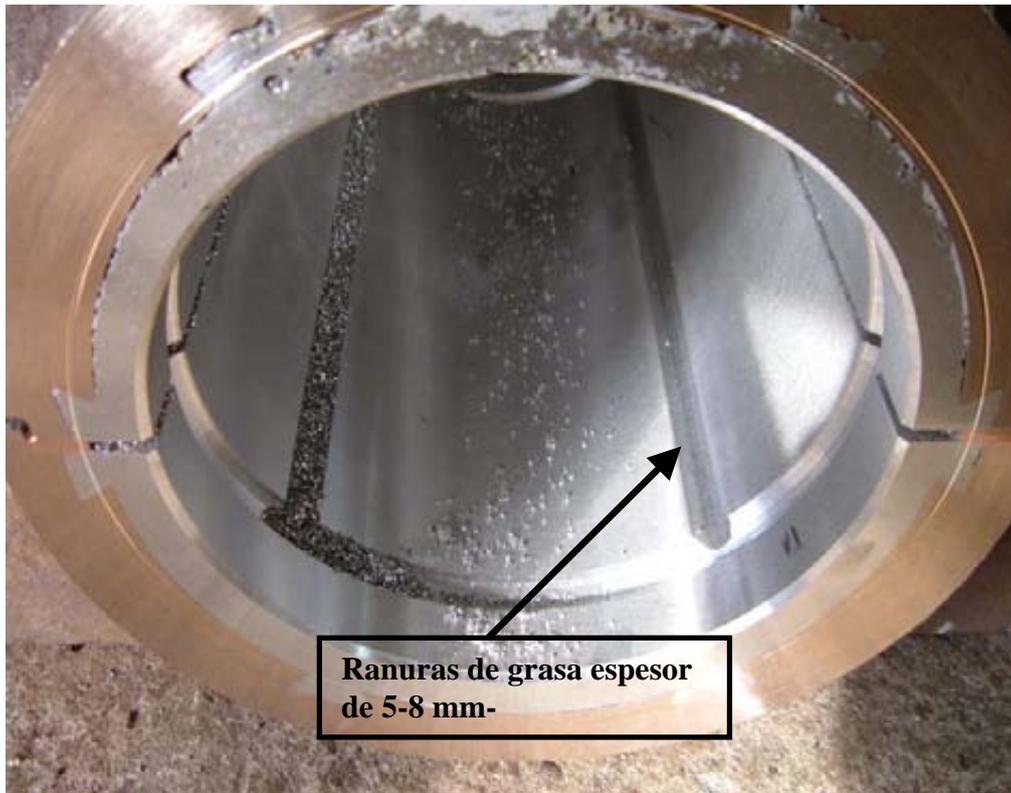


Fig.14 Descanso después de ser mecanizado

2.1.2.5 Mecanizado de los puños de los ejes (fig.15-16)

Se conoce por puños o alfiler de los ejes a la parte donde están situados los descansos. Por lo general esta parte de los descansos está recubierta de una bocina de bronce, todo esto como material de sacrificio. Cada vez que una embarcación sube a dique, estos puños son rectificadas (fig.15), puesto que con el desgaste se produce un ovalamiento de décimas de milímetro. Cabe destacar que estas bocinas de bronce solo se pueden rectificar en un 27% de su espesor original (fig.16) (anexo F directemar ubicado en CD adjunto)

El juego existente entre los descansos y los puños una vez reparada la línea de ejes es de aprox. 0.35 a 0.45 mm. En cada descanso.

A continuación mostraremos un eje que se encontraba en el torno y la rectificación del ovalamiento de las puños de bronce del mismo.

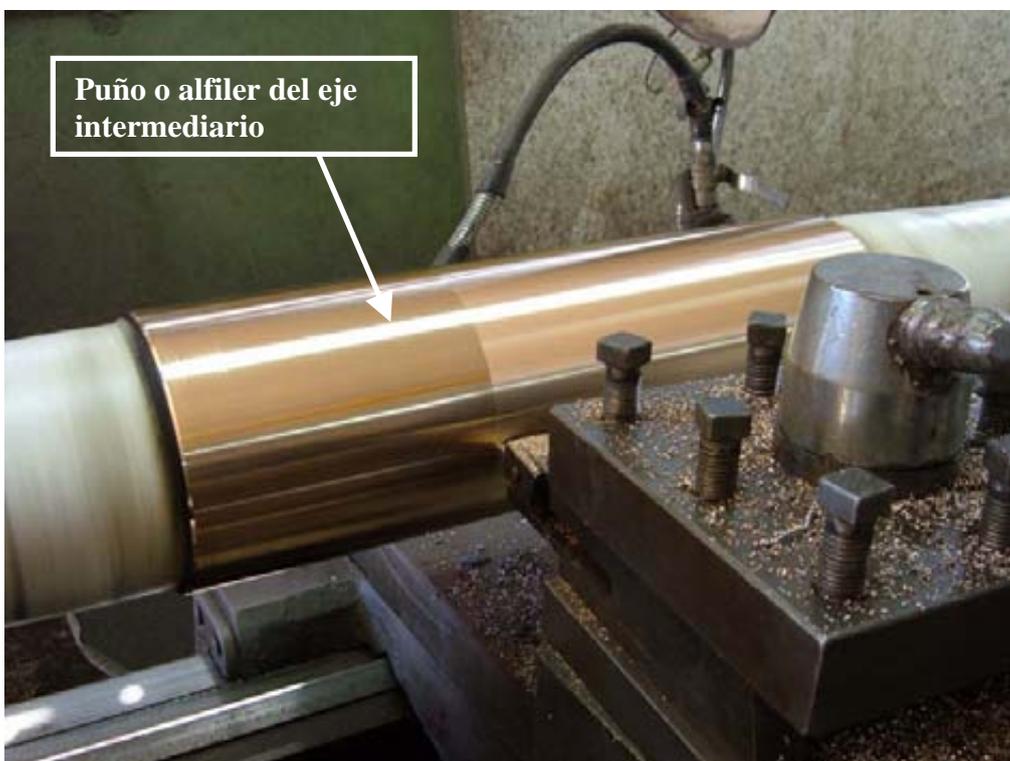


Fig. 16.

Bocina de bronce siendo rectificada, recordando que puede ser mecanizada hasta un 27% de su espesor original.

2.1.2.7 Armado de los descansos en los ejes y sistema de engrase de los descansos: (Fig.17-18-19-20-21)

Una vez reparado la línea de ejes y los descansos metalados, el paso siguiente es el armado de los descansos en los respectivos puños. Para ello los descansos son nuevamente desarmados. Y es en este momento cuando se aprovecha, el espacio de la unión tapa-base del descanso para confeccionar otras ranuras para lubricación Fig.17.

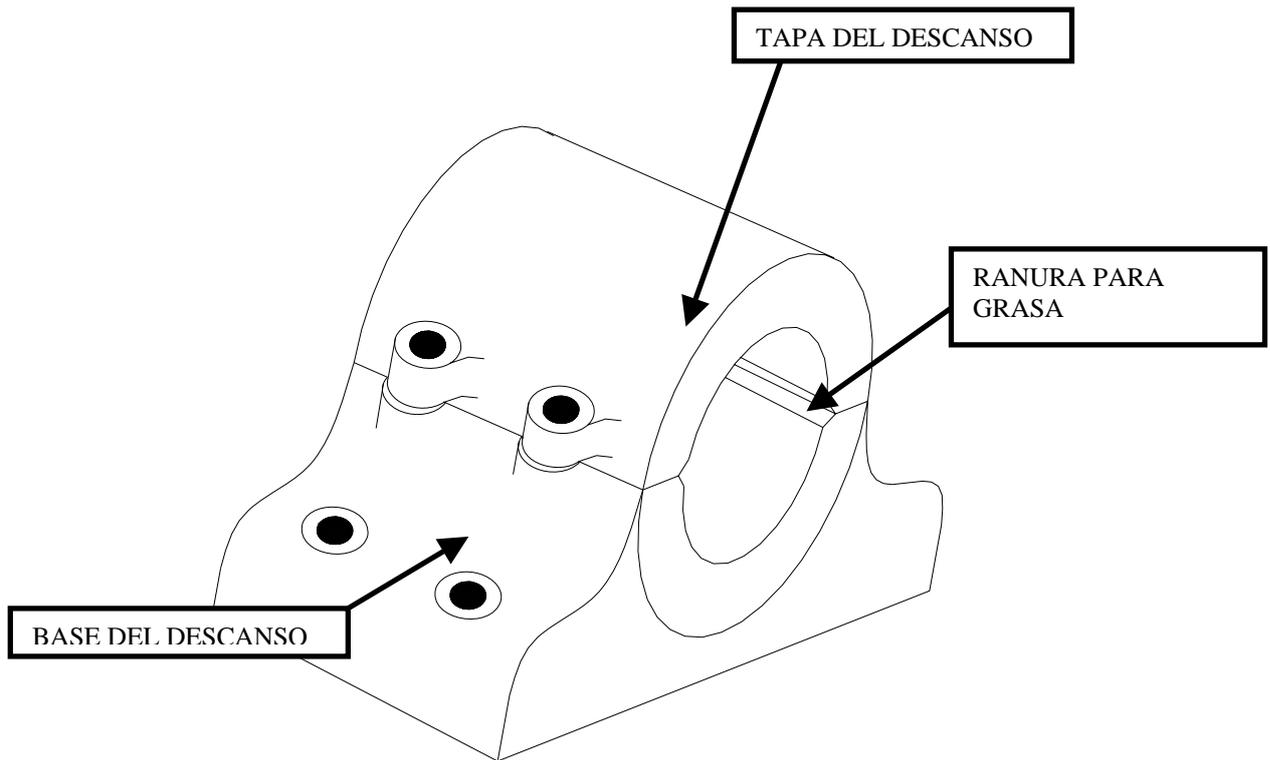


Fig. 17

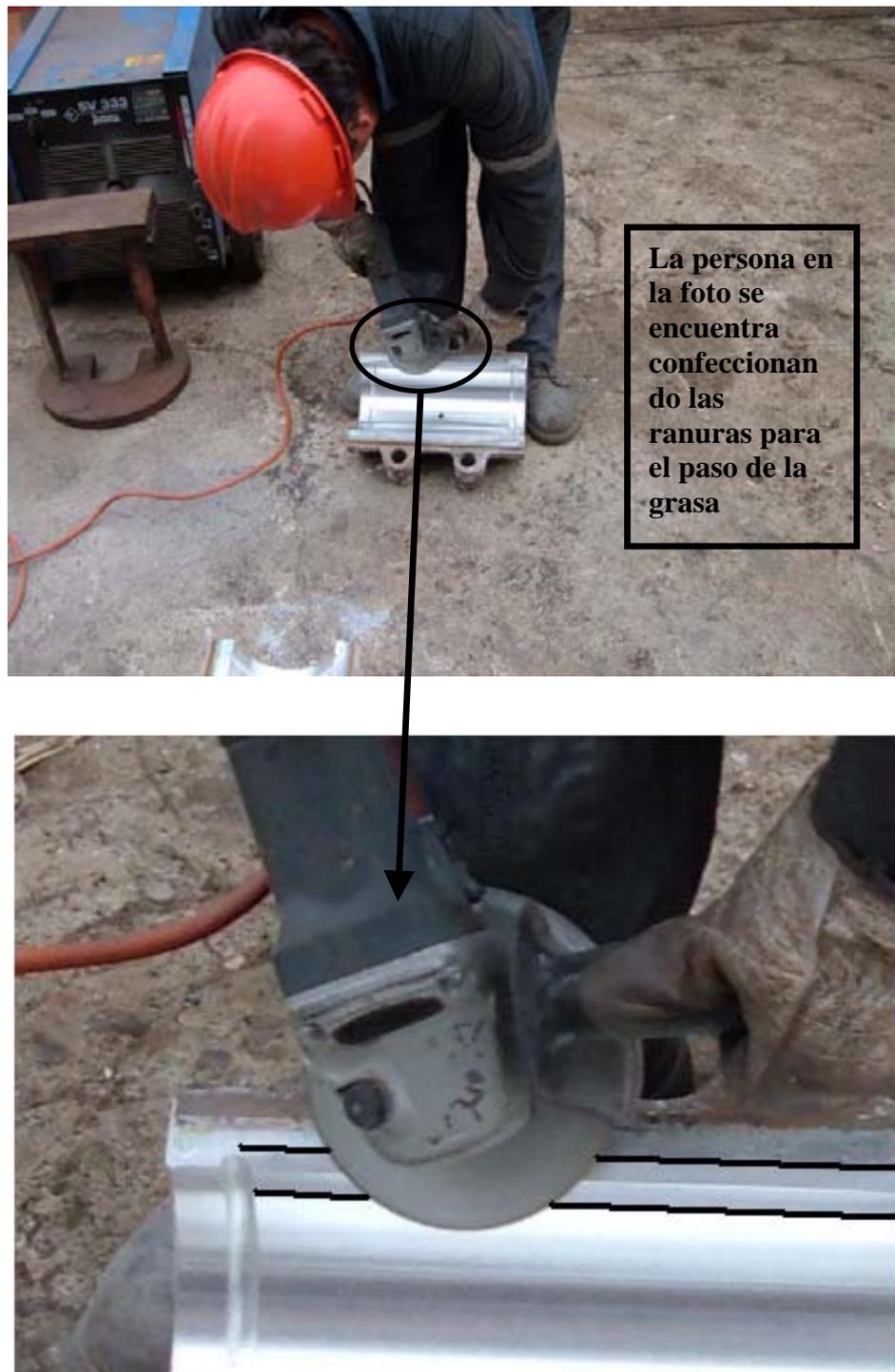


Fig.18

La grasa es un lubricante sólido ó semifluido compuesto por un aceite o aceites espesados con un agente espesante llamado jabón. Dependiendo de las características de los espesantes ó jabones se obtendrá una masa de consistencia sólida o semisólida.

El sistema de engrase es de suma importancia en estos casos ya que, es la grasa la sustancia que introducida entre superficies en movimiento relativo entre si,

reduce la fricción entre las mismas y los efectos correspondientes (desgaste, calentamiento y elevación de la temperatura de las superficies).

La línea de ejes es lubricada constantemente con grasa, desde la sala de maquinas,. Los flexibles de engrase utilizados son de alta presión, son flexibles SAE100R2 de ½” y con acoples y adaptadores NPT (hidráulicos) lo que hace mas fácil su instalación en los descansos. (se anexa tablas de adaptadores NPT en CD adjunto)

Posteriormente se inicia el proceso armado de los descansos en los ejes para luego instalar todo el conjunto en la embarcación, donde se lleva a cabo un prealineamiento, utilizando el método feeler. El objetivo de este proceso se realiza con el buque todavía en el dique y su objetivo es evitar situaciones engorrosas al momento de la prueba de mar, puesto que es incomodo trabajar en el agua, debido al movimiento de la embarcación.



Fig.19

Instalacion de los ejes en el tunel de la embarcación.

El prealineamiento (fig.20-21) se realiza mediante un feeler de características especiales, o sea hojas que van desde los 0,05 mm en adelante ubica el descanso tal como se muestra en la figura

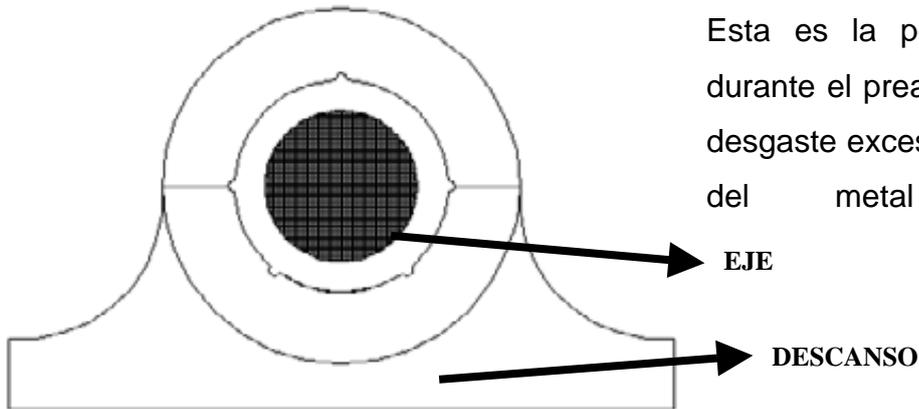


Fig.20

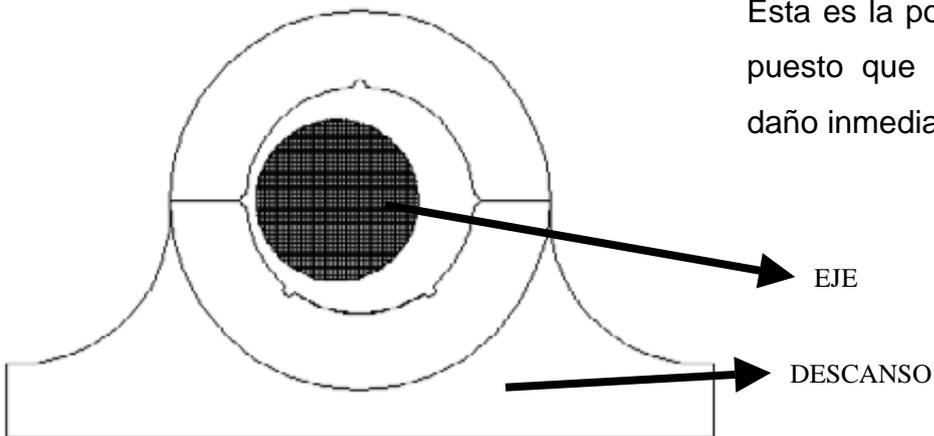


Fig.21

- .Nota: estas figuras expresan a grosso modo la situación que se produce.

2.1.3 Mantención del eje portahélice, hélice y tubo de codaste.

2.1.3.1 Verificación de los puños de los ejes, ajuste de conos de la hélice y del eje de cola, y su canal chavetero (Fig.22-23-24):

La verificación del ajuste del cono de la hélice y del eje portahélice se realiza en cada carena, y además en situaciones en las que la hélice ha tenido que ser reparada o en circunstancias en las que el eje de cola ha tenido que ser confeccionado nuevo.

Al desmontar eje portahélice, efectuar pruebas de detección de grietas en su cono, hilo de tuerca de amarre de la hélice y canal de chaveta y verificar si sus camisas están fuertemente adheridas. En las siguientes fotografías se puede observar el buen estado del canal chavetero y de la chaveta del eje de cola.



Fig.22

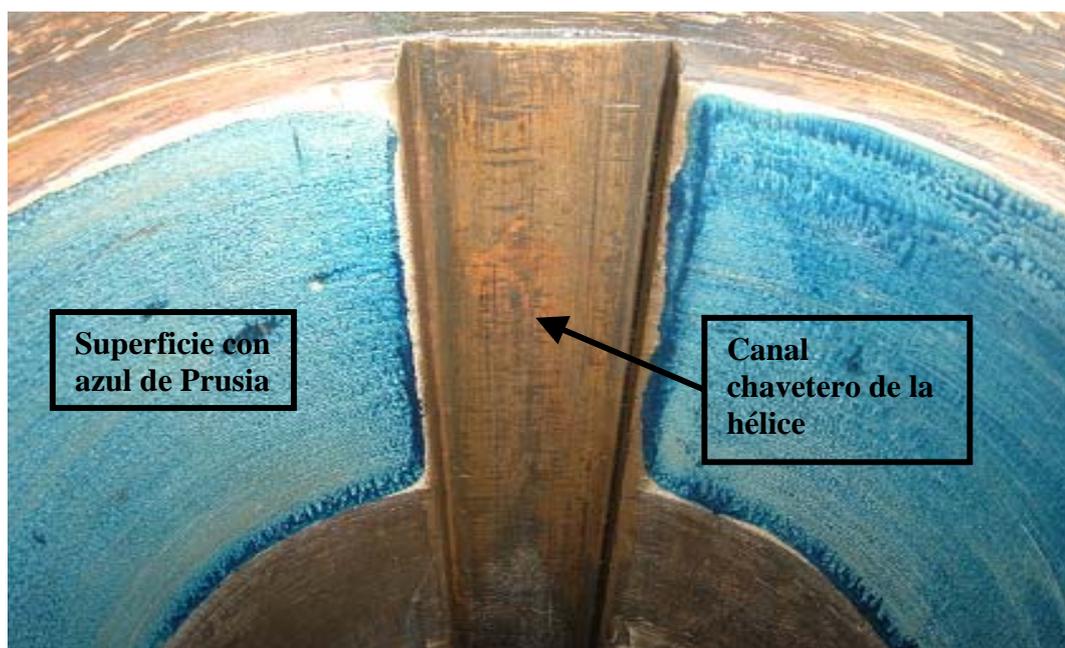


Fig. 23

La prueba del cono de la hélice consiste en colocar el eje en posición vertical y la hélice bajo de este, luego se deja caer libremente aprox. 100 mm. (Fig.22) para obtener el marcado adecuado de los 2 elementos.

Para revisar las marcas que dejan estos elementos, uno respecto del otro, se utilizan tintas y de esta manera se puede observar el porcentaje de contacto que hay entre ambos.

Los procedimientos en maestranzas navales nos permiten tener hasta un 80% (Fig.23) de superficie en contacto, lo que nos da la seguridad que tanto el chavetero, el propio cono y la hélice no vayan a sufrir daños.

2.1.3.2 Rectificación cono del eje y cono de la hélice.

En caso de que las superficies de contacto estén por debajo del 80 % permitido, es necesario recurrir a pastas de pulir para poder asentar el cono Fig.23. A continuación se muestran fotos en donde podemos observar con mayor claridad la situación.



En esta fotografía, se aprecia el eje suspendido sobre la hélice, preparado para la realización de la prueba. Se observa que el trabajador se encuentra colocando las tintas reveladoras del contacto entre los 2 elementos. (azul de prusia)

Asentamiento de cono, con pasta de pulir, gruesa y pasta de pulir fina. Tal como se aprecia en la siguiente fotografía la mordaza con palanca en sus extremos es utilizada para hacer giros en 360° y así obtener el desgaste necesario en el cono “de la hélice”, puesto que es el bronce el material mas **blando**



Fig.25



Fig.26

En la fig.26 se puede observar que mas del 80% de la superficie del cono estuvo en contacto con la hélice, los que nos arroja un resultado satisfactorio de la prueba de cono.

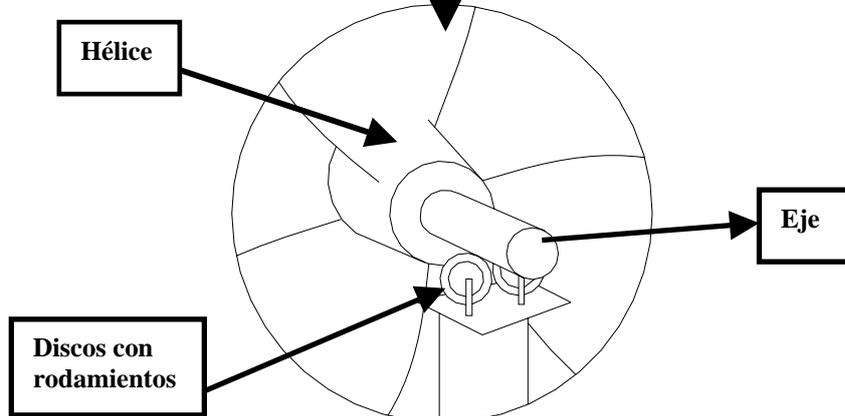
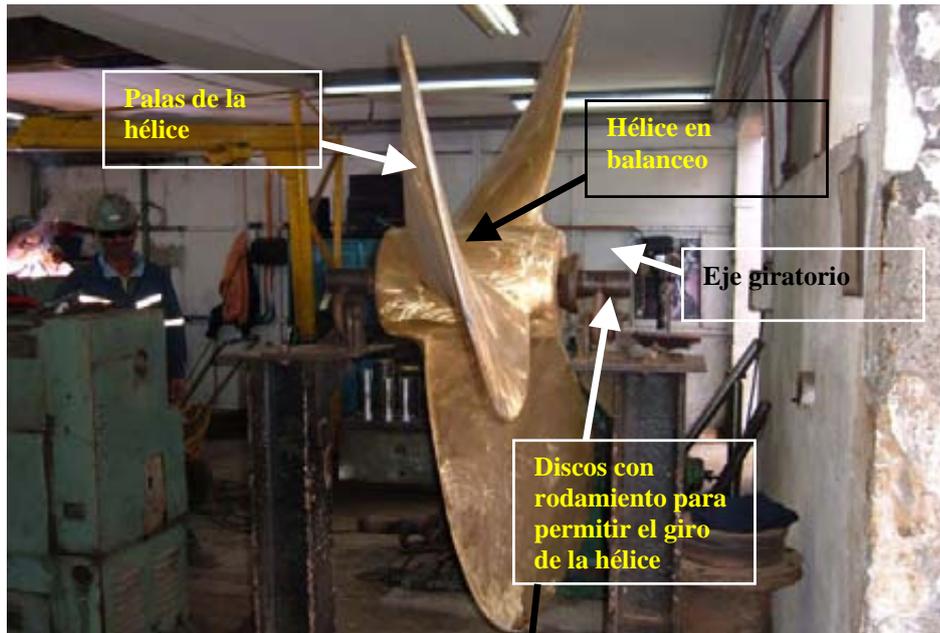
2.1.3.3 Pulido y Balanceo hélice de la embarcación.

El pulido de la hélice se realiza principalmente para poder efectuar una inspección visual de la misma, de manera de observar poros o grietas, además se realiza por efectos de limpieza y estética de la embarcación. Para aceptar una hélice, se podrá efectuar inspección visual y con sistema de penetrantes y exigir pruebas no destructivas de detección de defectos. Si se aprecian anomalías en su superficie, se hará una inspección con ultra sonido.

El balanceo de la hélice de una embarcación es una de las procesos primordiales al momento de la reparación de una línea de ejes, esto se debe a que un desbalanceo puede ocasionar vibraciones y con ello daños en todos los componentes de la propulsión de la embarcación.

El balanceo de las hélices consiste en tratar de mantener el peso de cada una de las palas en forma equilibrada. Esto se consigue, colocando la hélice como representa

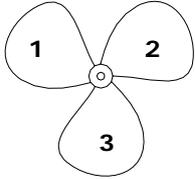
en la siguiente imagen, y luego haciéndola girar, para observar descompensación que cada pala posee respecto de la otra. El desbalanceo se puede eliminar quitando o agregando peso a las palas de la hélice.



Proceso de Balanceo de Hélices:

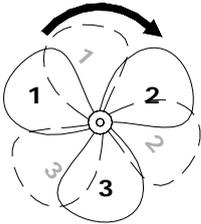
Los pasos a seguir para el balanceo de hélices se explican a continuación.

Ejemplo. Se toma como ejemplo que la pala N°2 es la de mayor peso y que la N°3 tiene un ligero desbalance.



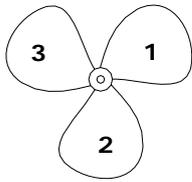
PASO1

Una vez montada la hélice sobre los soportes, la hélice es fijada. Posteriormente se deja libre para observar el movimiento propio de la diferencia de pesos de una pala respecto a la otra.



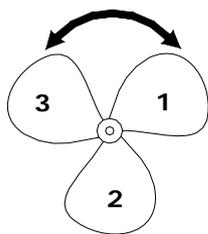
PASO2

Supongamos que la hélice inicia su movimiento tal como se muestra en la figura (en sentido de las manecillas del reloj), el encargado del balance, la hace girar con sus manos hasta que la pala N°1 tome la posición de la pala N°2 como se muestra a continuación.



PASO3

Una vez en esta nueva posición, la hélice es nuevamente fijada, luego se repite el paso 1. se deja libre para observar el movimiento propio de la diferencia de pesos.



PASO4

Como la suposición del ejemplo nos indica que la pala N°2 y un ligero desbalance en la N°3, en este paso la hélice se comportaría con oscilaciones pequeñas en ambas direcciones tal como muestra la figura. Sin embargo la pala que se encuentra directamente hacia abajo es la N°2 la de mayor peso. Es en este instante, donde se toma la decisión de quitarle material por medio del esmeril angular a la pala N°2.

Todo este proceso se repite hasta una y otra vez hasta que las 3 palas de la hélice quedan en equilibrio, es decir sin movimiento propio.

2.1.3.4. Medición de los diámetros de la bocina thordon del tubo de codaste. (Fig 27-28)

Al llegar la embarcación a dique, se realiza un levantamiento de medidas tanto en los descansos intermedios como en el codaste. Estas medidas se utilizan para llevar estadísticas acerca del comportamiento de dichos elementos respecto del desgaste y además para la toma de decisiones al momento de la reparación de los mismos.

El resultado de las mediciones arroja que se debe cambiar la bocina del tubo de codaste, debido a un claro excesivo entre este y el eje propulsor. A continuación se muestra la (fig.27) representativa de los claros obtenidos en dichas mediciones.

Estos claros muestran un evidente ovalamiento del cojinete como se aprecia en las tablas de mediciones en la pagina siguiente (pag. 93)

CLAROS RADIALES DE LA BOCINA DEL TUBO DE CODASTE RESPECTO DEL EJE PROPULSOR

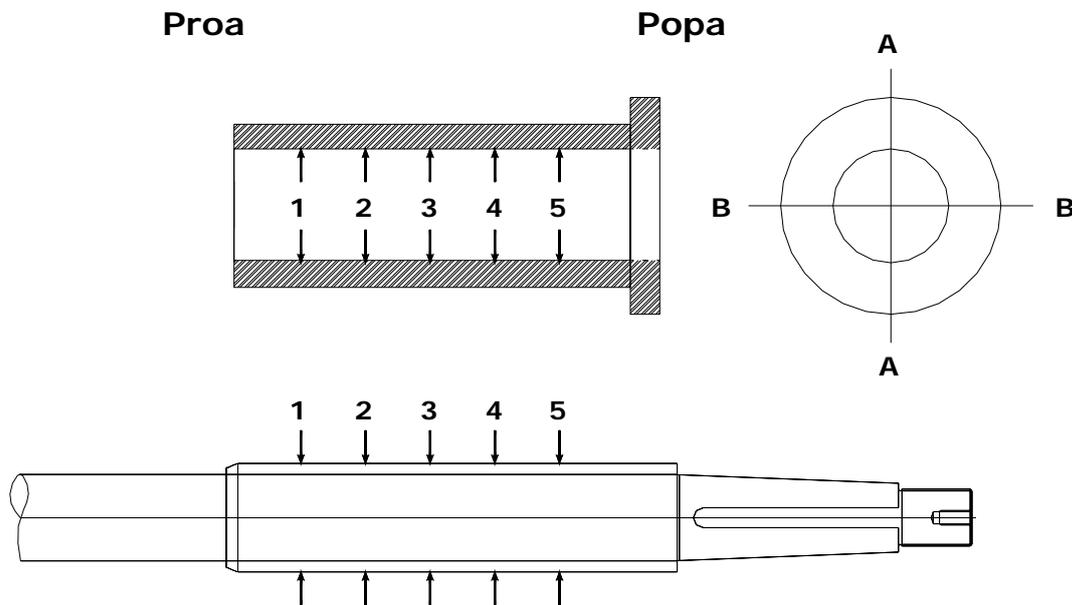


Fig. 27

Medidas tomadas a la bocina del tubo de codaste

MEDIDAS	A-A	B-B	(*)Ovalamiento
1	191,65	191,05	0,6
2	191,45	190,97	0,48
3	191,63	190,88	0,75
4	191,88	191,03	0,85
5	191,76	191,11	0,65

Medidas tomadas al puño del eje propulsor.

MEDIDAS	A-A	B-B	Holgura
1	187,91	187,9	3,14
2	187,9	187,9	3,07
3	187,88	187,87	3
4	187,86	187,88	3,15
5	187,9	187,68	3,21

- (*)Nota: El ovalamiento de la bocina del codaste se obtiene de la resta entre ambas medidas
- (***)Nota: La holgura existente entre el eje de cola y la bocina del codaste se obtiene de la resta de la medida menor de la bocina y la mayor del eje propulsor.

En la siguiente fotografía fig.8. se muestra el acorvatamiento que tenía la embarcación, a pesar de que contaba con guardababo, una de las razones por las cuales fue cambiada la bocina del tubo de codaste

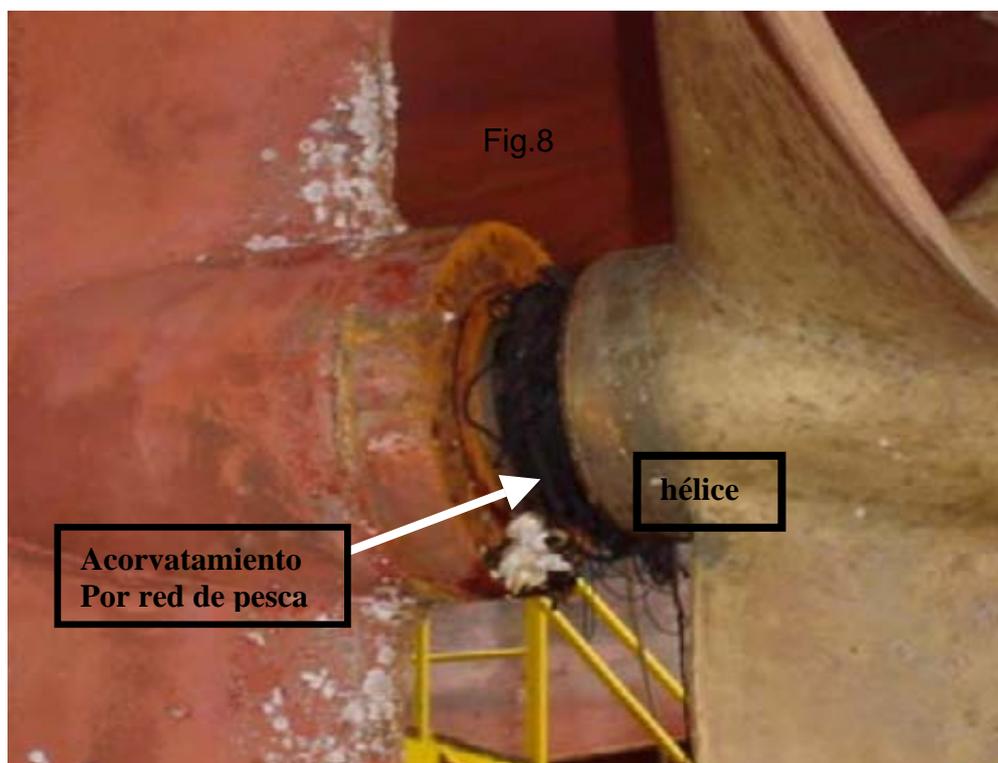


Fig. 28

Esta bocina, fue retirada para ser cambiada por thordon nuevo, debido a que los claros se encontraban aproximados a los admisibles por la gobernación marítima y a demas debido a un daño provocado por un acorvatamiento. el cual calcularemos a continuación. Según el anexo F de directemar, En cojinetes de guayacán y de materiales plásticos estratificados, el huelgo no debe ser superior a $0,01D + 3$ mm para ejes menores de 500. mm y de $0,01D + 8$ mm. para ejes portahelices mayores a 500 mm.

2.1.3.5. USO DEL PROGRAMA ENTREGADO POR LA EMPRESA THORDOM BEARINGS INC. PARA EL CALCULO DE LA BOCINA DEL CODASTE

A continuación mostramos como se calculan cojinetes thordon, utilizando métodos empleados y recomendados por THORDON BEARINGS, y de igual manera se muestran las comparaciones de estos resultados con los resultados entregados por el software THORDON BEARINGS.

A demas, se busca mostrar, la utilización del programa en la practica, durante el proceso de carena de la embarcación a la cual hacemos referencia.

1. CÁLCULOS PASO A PASO

Existen diferentes tipos de ajuste para cojinetes thordon, y esta diferencia depende de la función que vaya a realizar dicho cojinete, tal como se ha explicado en la sección 1.4.8. Estos son:

- a) ajuste a presión
- b) ajuste por adherencia

En el caso de las embarcaciones, el ajuste utilizado es el ajuste a presión, puesto que los requerimientos de trabajo para estos casos son superiores, en ellos se necesita un contacto a presión entre el material y su alojamiento debido a situaciones como vibraciones, que son muy comunes en los buques y de esta manera evitar que el cojinete se suelte en su alojamiento.

A continuación mostramos paso a paso el método utilizado para cada tipo de ajuste

AJUSTE A PRESION:

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 la (Fig.19 del capítulo I) 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 la (Figura 19). 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 la (Fig.22 del capítulo I) 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 la (Fig 23 del capítulo I).
- **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 del capítulo I) 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.

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 (Fig. 23 del capítulo I).

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

Paso 4: El factor de absorción de agua se determina en la (Fig. 24 del capítulo I) 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.

2. EJEMPLOS DE CÁLCULO DE COJINETES THORDON PROPORCIONADOS POR EL FABRICANTE

CÁLCULO DE AJUSTE A PRESION: THORDON XL

Datos:

1. Tipo de operación:	Bocina tubo de codaste
2. Alojamiento del cojinete:	Diámetro interior 150 mm ± 0.08 mm
3. Diámetro del eje:	Diám. 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 (fig.29)

Interferencia para un cojinete de 150 mm de diámetro funcionando a 11° C por debajo de la temperatura ambiente de la (Fig. 19 del capítulo I).

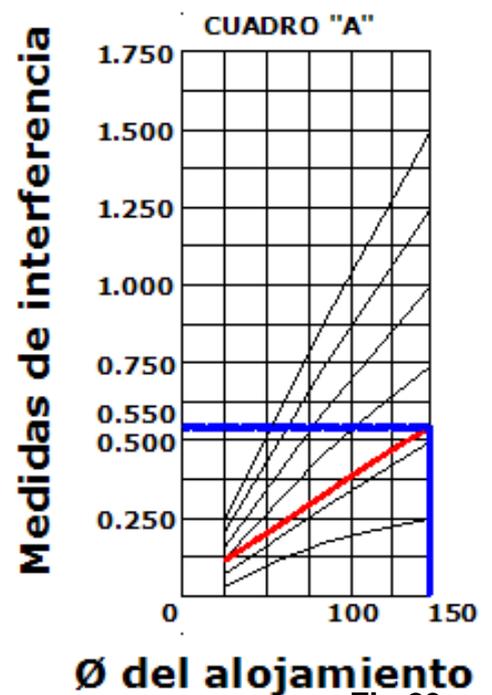
0.55 mm.

Paso 1-1

Diámetro exterior del cojinete
 = Máximo del alojamiento + interferencia
 = 150.08 + 0.55
 = 150.63 mm

Con tolerancia de maquinado estándar.

OD del cojinete = 150.63 + 0.13/ - 0.00



Nota: El grafico mostrado es un sector del grafico original de la figura 19, en esta parte se muestra solo el sector para el diámetro del ejemplo.

La línea roja representa la temperatura de 11°C por debajo de la temperatura ambiente (temperatura mínima de operación del cojinete).

En el grafico se observa que para un diámetro de 150 mm y una temperatura de 11°C debajo de la temperatura ambiente la interferencia es de 0.55 mm.

Diámetro interior:

Paso 2 (fig.30)

Porcentaje de cierre del calibre de la (Fig. 22 del capítulo I) = 145% por ser un thordon tipo XL

Cierre de calibre real:

Interferencia promedio = Interferencia (Paso 1.1) + 50% de la tolerancia del alojamiento y tolerancia del OD del cojinete. = $0.55 + \frac{(0.16 + 0.13)}{2} = 0.70$ mm.

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

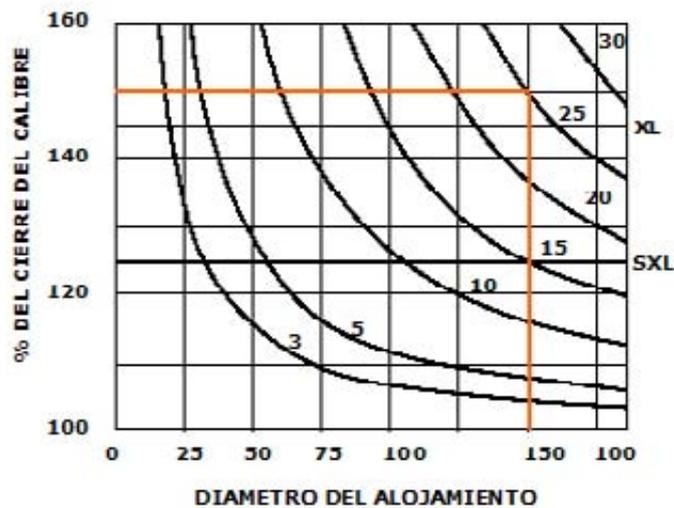


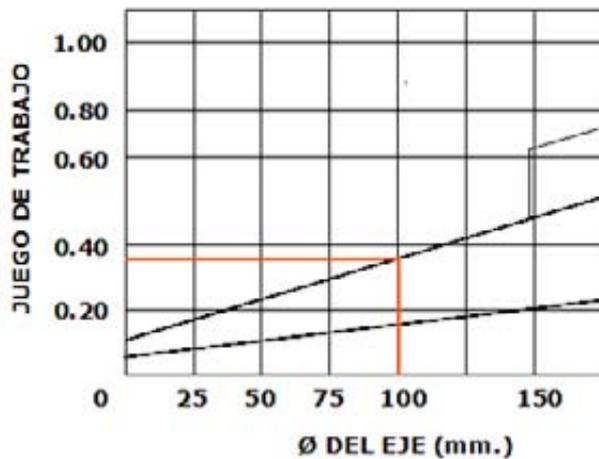
Fig. 30

Nota: Este al igual que el grafico anterior es un sector del figura 21 mostrada en capítulos anteriores. Aquí podemos apreciar que el porcentaje de cierre del calibre que nos entrega el grafico, según los datos con los cuales ingresamos, es de 150%, pero el proveedor recomienda que el cierre del calibre sea un máximo de 145%

Paso 3 (fig.31)

Juego de trabajo básico para

eje de 100 mm de la (Fig. 23 del capítulo I) = 0.36 mm.



Cojinetes Industriales y marinos
de rotación ilimitada

Cojinetes Industriales y marinos
con rotación limitada

(fig.31)

Paso 4

Expansión térmica $C_t = 2 W.T. a (T_s - T_a)$

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

Paso 5

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

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

El W.A.F. (water absorption factor) o factor de absorción de agua se lee de la figura 24, tomado en cuenta la temperatura máxima de operación

Luego Huelgo total = Pasos 2 + 3 + 4 + 5 = 1.76 mm

Paso 6

Diámetro interior del cojinete

= diámetro del eje + huelgo total del diámetro interior

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

$$= 101.76 \text{ mm}$$

con tolerancia de maquinado estándar

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

3. EJEMPLO DE CÁLCULO DE COJINETE THORDON AJUSTE POR ADHERENCIA: THORDON XL

Datos:

- | | |
|------------------------------|---|
| 1. Tipo de operación: | Bocina tubo de codaste |
| 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

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

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

Paso 4

Absorción de agua

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

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

Huelgo total = Pasos 2 + 3 + 4 = 0.74 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

\ ID del cojinete = 100.74 + 0.13 /- 0,00mm

4. CALCULO DE COJINETES UTILIZANDO EL PROGRAMA "THORDON BEARINGS".

El programa computacional de calculo que Thordon Bearing Inc. Provee es un programa que sirve de apoyo al momento del diseño y dimensionamiento de los cojinetes Thordon.

Este programa ha sido desarrollado, tras largos años de experiencias, desarrollos, diseños, confección e instalación de cojinetes a lo largo del mundo.

El programa posee un menú didáctico en el cual se encuentra el ingreso de datos, calculo del cojinete, impresión de los datos y ayuda. La figura 32 muestra el menú principal que presenta el programa y algunos números de teléfono como contacto.

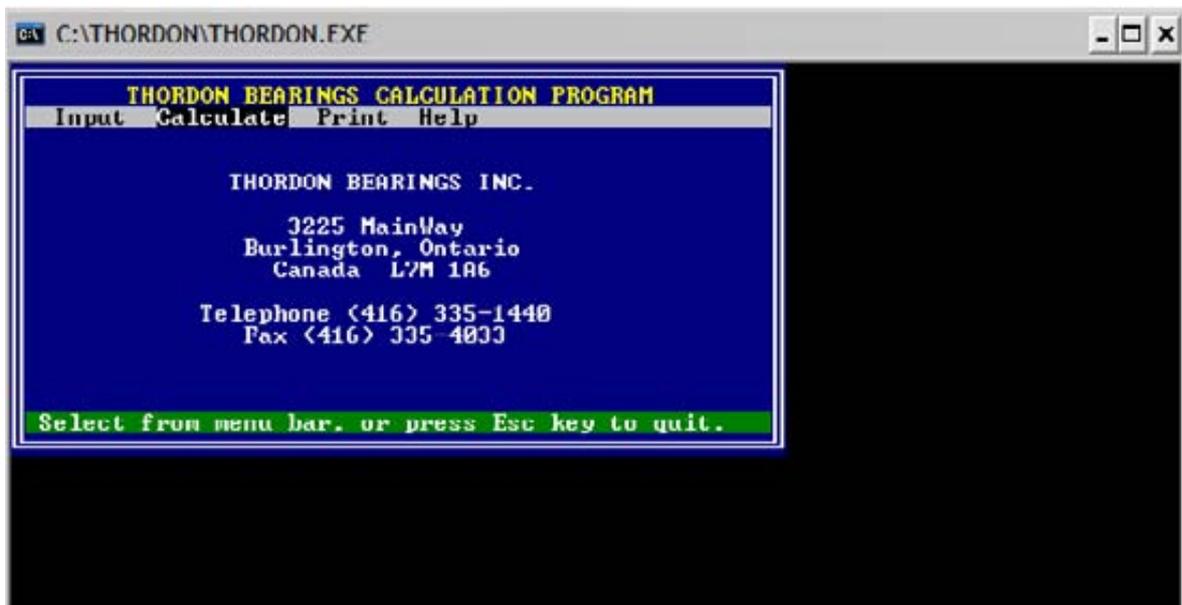


Fig.32

La siguiente figura muestra la ventana de ingreso de los datos. Se utilizaron los mismos datos de ingreso que en los ejercicios paso a paso de la subsección anterior.

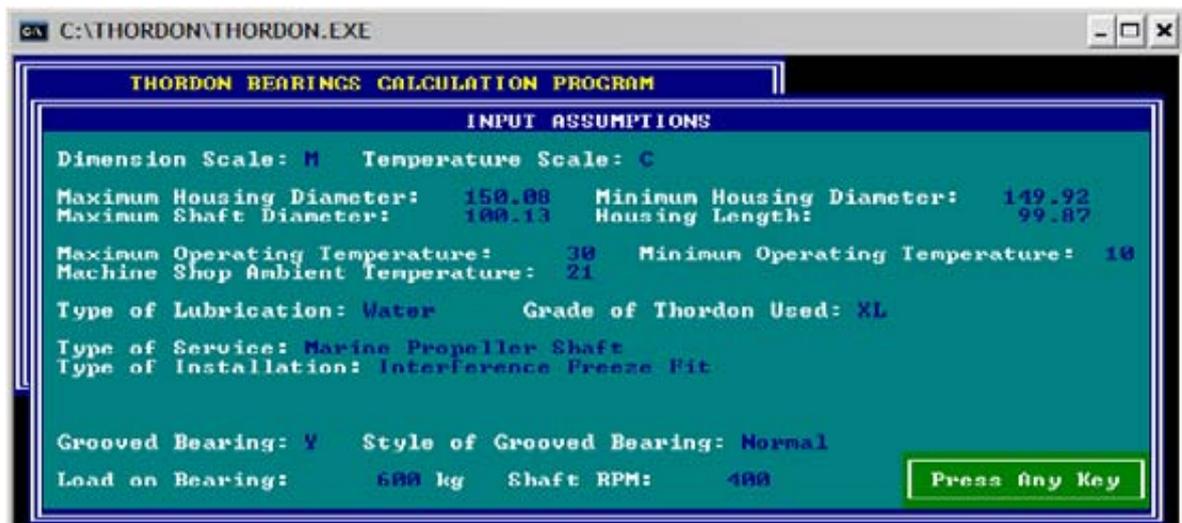


Fig.33

El programa nos da la facilidad de trabajar ya sea en medidas del sistema internacional o el sistema ingles de medida.

Es importante destacar que el programa dispone de antecedentes ya ingresados, para que la persona que se encuentre utilizándolo no necesite de tablas o gráficos para llevar a cabo su cálculo, como lo son:

- Tipo de lubricación
- Calidad del thordon
- Tipo de servicio
- Método de instalación
- Y Si es un cojinete estriado o no
- Además toma en cuenta las RPM del eje y el peso del mismo.

Estas antecedentes que el programa posee hacen que los resultados de este, con respecto a los resultados de los cálculos paso a paso difieran, en décimas.

A continuación se muestra la ventana de resultados (fig.34) y se hace la comparación con los resultados obtenidos con los cálculos paso a paso.

Los principales resultados que buscamos en con este programa son el calculo para el mecanizado tanto del diámetro exterior como del diámetro interior.

```

C:\THORDON\THORDON.EXE

-- OUTPUTS --

Machined Bearing Inside Diameter: 101.80 mm +0.13, -0.00
Machined Bearing Outside Diameter: 150.62 mm +0.13, -0.00
Minimum Installed Diametrical Clearance: 0.69 mm
Calculated Machined Bearing Length: 99.21 mm

Amount of Interference: 0.53 mm
Bore Closure Factor: 1.450
Bore Closure Amount: 0.99 mm
Diametric Running Clearance: 0.30 mm
Diametric Thermal Expansion: 0.08 mm
Diametric Water Swell: 0.30 mm
Axial Thermal Expansion: 0.15 mm
Axial Water Swell: 0.51 mm
Number of Grooves: 0
Width of Grooves: 6.00 mm
Depth of Grooves: 3.00 mm
Pressure on Bearing: 0.60 MPa
Peripheral Velocity: 2.10 m/sec

PRESS ANY KEY ...
  
```

Fig. 34

Ahora los datos comparados son:

	Programa Thordon Bearings	Calculo paso a paso
Diámetro exterior	150.62 mm. +0.13,-0.00	150.63 + 0.13/ - 0.00
Diámetro interior	101.80 mm. +0.13,-0.00	101.76 + 0.13 /- 0.00mm

Como podemos observar, las diferencias se encuentran en centésimas de milímetro, y esto se debe a que el programa toma en consideración, algunos datos, que al momento del cálculo paso a paso no se toman en cuenta.

Lo que si podemos afirmar que los cálculos paso a paso son una indispensable base al momento del diseño de un cojinete thordon, puesto que es una manera palpable de conocer los requerimientos necesarios para obtener un cojinete adecuado para una embarcación.

2.1.3.6. USO DEL PROGRAMA COMPUTACIONAL THORDOM EN EL ASTILLERO DONDE FUE REALIZADA LA CARENA

Luego conociendo los datos obtenidos en la seccion 2.1.3.4. podemos proceder a calcular la bocina del codaste de la embarcación a la que nos referimos.

1. Tipo de operación:	Bocina tubo de codaste
2. Alojamiento del cojinete:	Diámetro interior 230.05 ± 0.08 mm.
3. Diámetro del eje:	Diámetro exterior 187.00 + 0.00 / - 0.13 mm.
4. Temperatura de operación:	Mín. 10° C Máx. 28° C
5. Temperatura ambiente:	20° C
6. Entorno:	Agua

Es importante mencionar que, el alojamiento de la bocina del codaste, no fue necesario, rectificarlo, puesto que se encontraba en buen estado. En la fig.35 se muestra el alojamiento arenado y listo para que sea instalada la bocina Thordon.

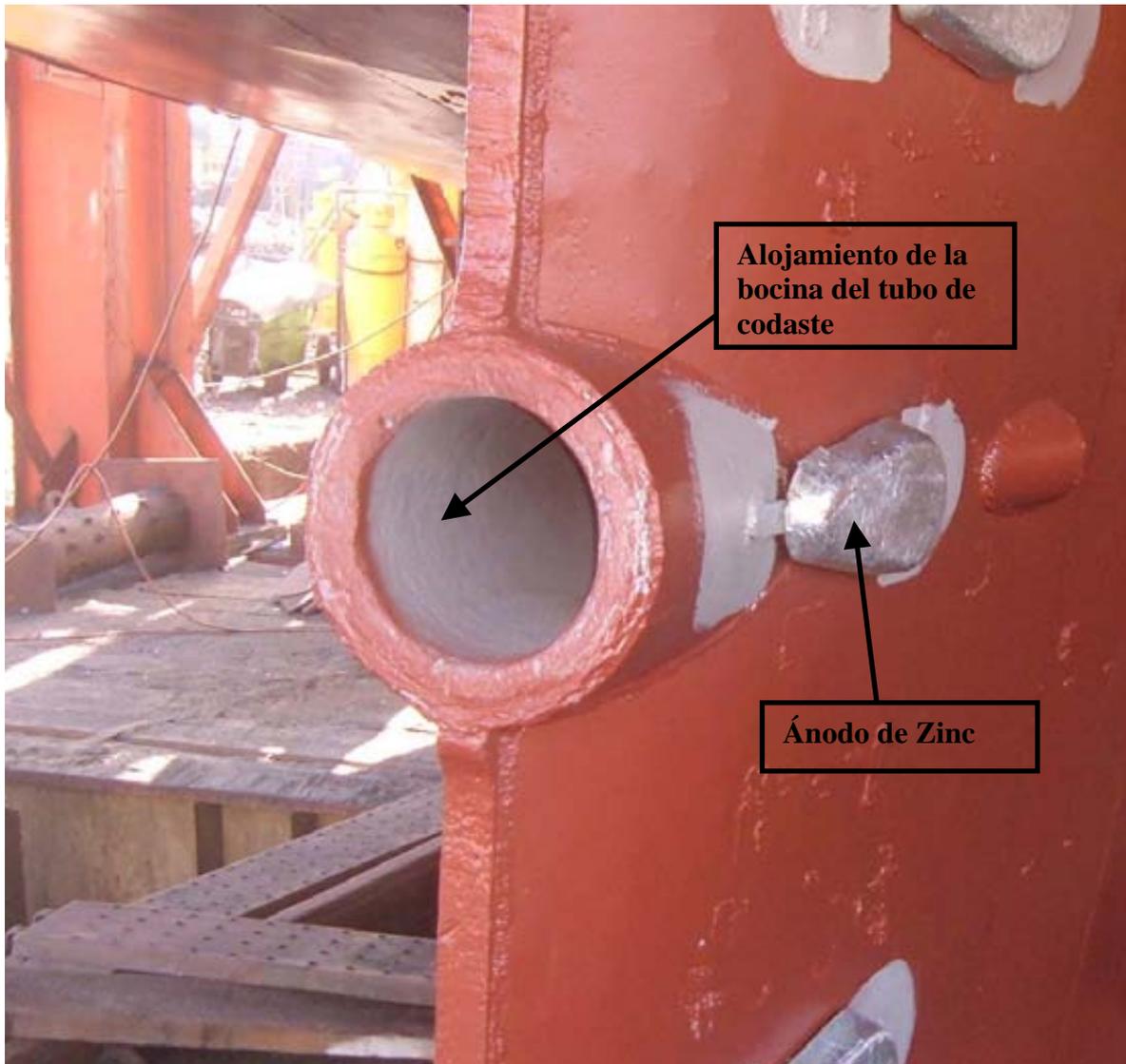
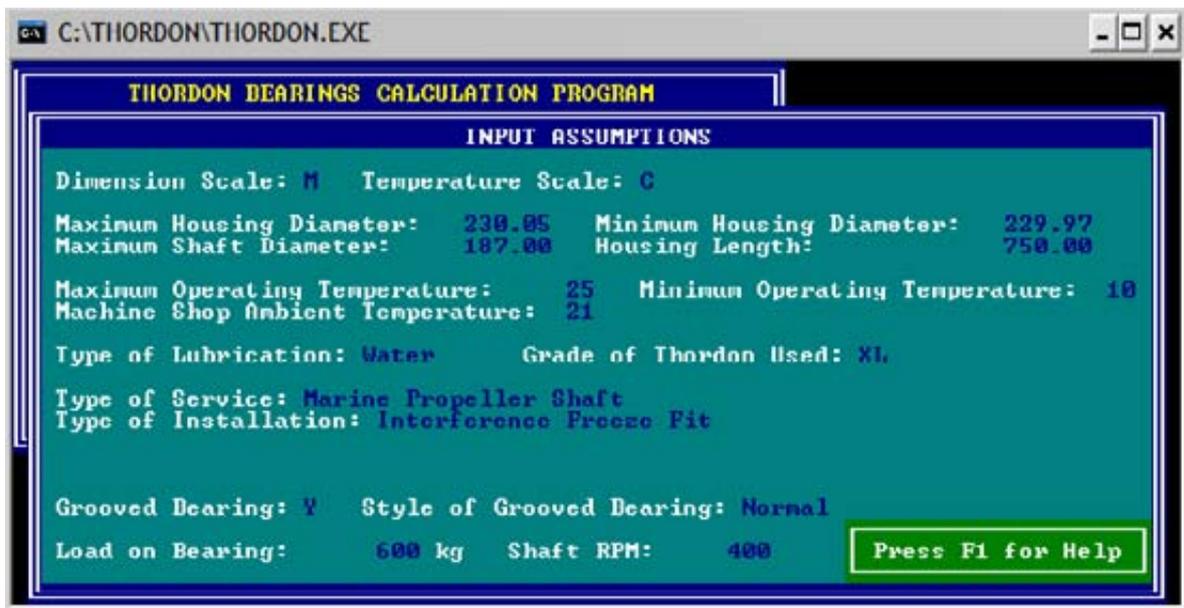
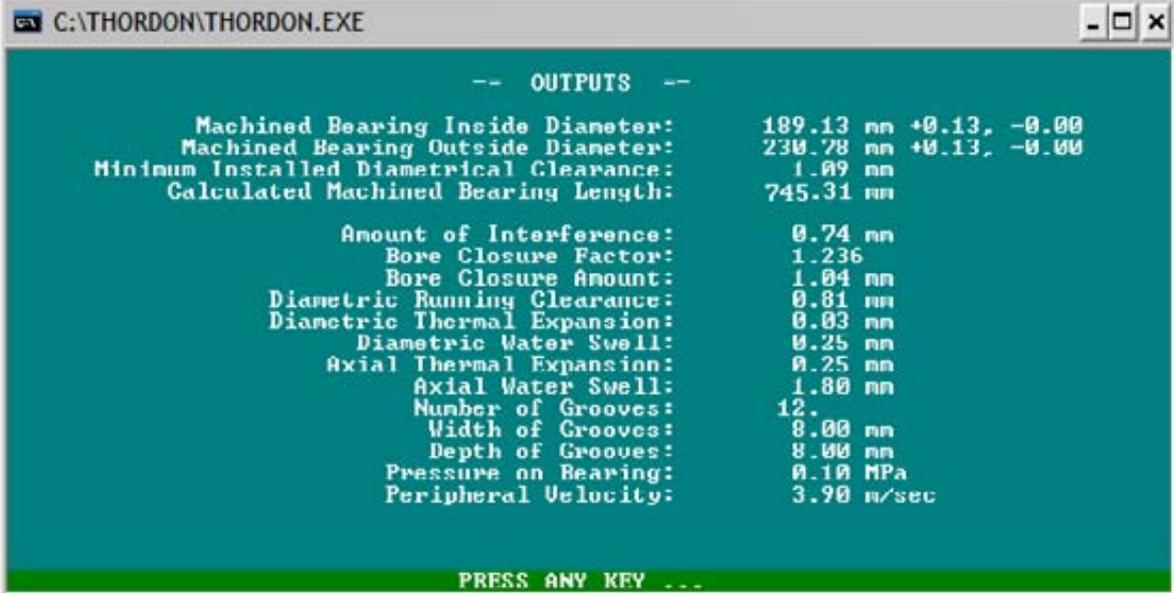


fig.35



La fig. 36 muestra los datos de ingreso al software

A continuación mostramos (fig. 37), los resultados arrojados por el programa Thordon Bearings.



```

C:\THORDON\THORDON.EXE
-- OUTPUTS --
Machined Bearing Inside Diameter: 189.13 mm +0.13, -0.00
Machined Bearing Outside Diameter: 230.78 mm +0.13, -0.00
Minimum Installed Diametrical Clearance: 1.09 mm
Calculated Machined Bearing Length: 745.31 mm

Amount of Interference: 0.74 mm
Bore Closure Factor: 1.236
Bore Closure Amount: 1.04 mm
Diametric Running Clearance: 0.81 mm
Diametric Thermal Expansion: 0.03 mm
Diametric Water Swell: 0.25 mm
Axial Thermal Expansion: 0.25 mm
Axial Water Swell: 1.80 mm
Number of Grooves: 12.
Width of Grooves: 8.00 mm
Depth of Grooves: 8.00 mm
Pressure on Bearing: 0.10 MPa
Peripheral Velocity: 3.90 m/sec

PRESS ANY KEY ...

```

fig. 37 Datos arrojados por el programa

En resumen, los datos ingresados en el programa, dieron los resultados para el mecanizado de la nueva bocina thordon para el codaste.

2.2 MANTENCION DEL TIMON, MECHA DEL TIMON Y BOCINA DE LA LIMERA.

La embarcación, puede tener todo el empuje necesario, pero si este empuje no es controlado, la nave no podría navegar, es necesario tener un sistema de gobierno apto para mantener el rumbo y ser capaz de ofrecer una buena evolución.

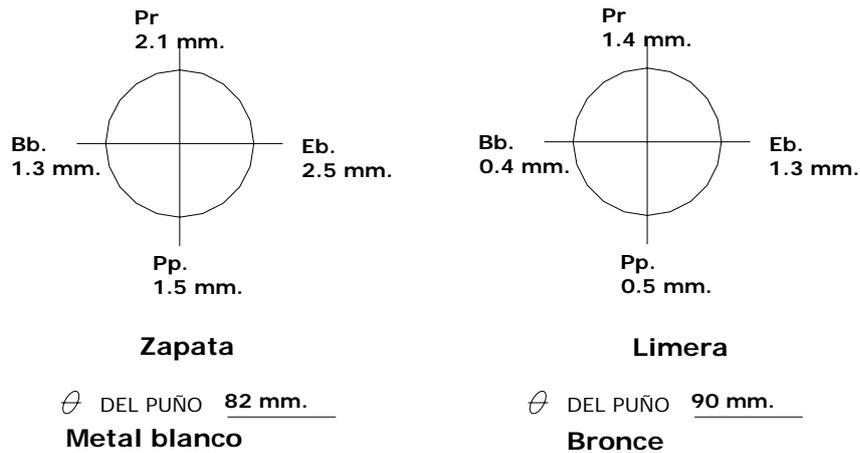
Al entrar a dique una de las principales rutas de ataque es el sistema de gobierno, puesto que al igual que la propulsión son sistemas que sufren de mucho desgaste durante las faenas de pesca. La inspección de los componentes de sistema de gobierno esta estipulada en el anexo F de directemar la cual se muestra a continuación.

X.- TIMONES

TIMON	Claros Admisibles	Claros al varar	Claros desvarar	Material y Ø
Tintero				
Limera				

Observaciones:

- 1.- Debe controlarse los claros de los ejes, pinzotes o mechas y el claro vertical cuando corresponda, en relación con el diseño (D.S. (M) N° 146, Art. 129, letra A).
- 2.- Si los claros están fuera de límite o si se aprecian defectos visibles, los timones se harán desarmar, examinándose sus ejes, mechas o pinzotes y sus descansos (D.S. (M) N° 146, Art. 129, letra A).
- 3.- Los huelgos máximos aceptables son los siguientes :
 - a) Pinzotes diámetro inferior a 50 mm. = 3,5 mm.
 - b) Pinzotes diámetro entre 50 y 100 mm = 5 mm.
 - c) Mecha (Bocina limera) = igual que pinzotes
 - e) Descansos intermedios: $0,010D + 2\text{mm}$.
 - f) Claro entre el planchaje inferior del timón y zapata: 5mm.
- 4.- La mecha del timón debe retirarse cada 4 años, verificando la existencia de corrosiones y desgaste. Se debe además verificar el alineamiento de los descansos (si corresponde)



La fig. muestra el resultado de la toma de claros, los cuales no exceden los criterios del anexo F al cual nos referimos debido al mal estado del metal blanco de la zapata la pala timón fue retirada, para posteriormente realizar el metalado correspondiente de dicho descanso.

2.2.1 Retiro del timón y el eje limera (fig.38-39-40-41-42)

Debido al gran esfuerzo que realiza todo el sistema de gobierno es necesario que los elementos de este tengan uniones bien consolidadas, es por ello que para unir el eje limera con la pala timón se utilizan pernos de alta resistencia *(G°5) y mas aun estos pernos son debidamente soldados en todas las partes de contacto, para conseguir el máximo de seguridad que esto requiere.

(*)Nota: Se anexa tabla de resistencias de pernos

El retiro de la pala timón:

- 1) Parte por el retiro de los pernos, para ello es necesario deshacerse de la soldadura, esto se realiza con un THORCH.
- 2) El paso siguiente es sacar la pala timón y botar el lastre que en ella se encuentra, para realizarles pruebas neumáticas y comprobar su estanqueidad.
- 3) Luego se procede al retiro del eje, limera de la embarcación

La fig.38 muestra el deterioro de la prensa selladora del tubo de limera , por efecto del ingreso de agua

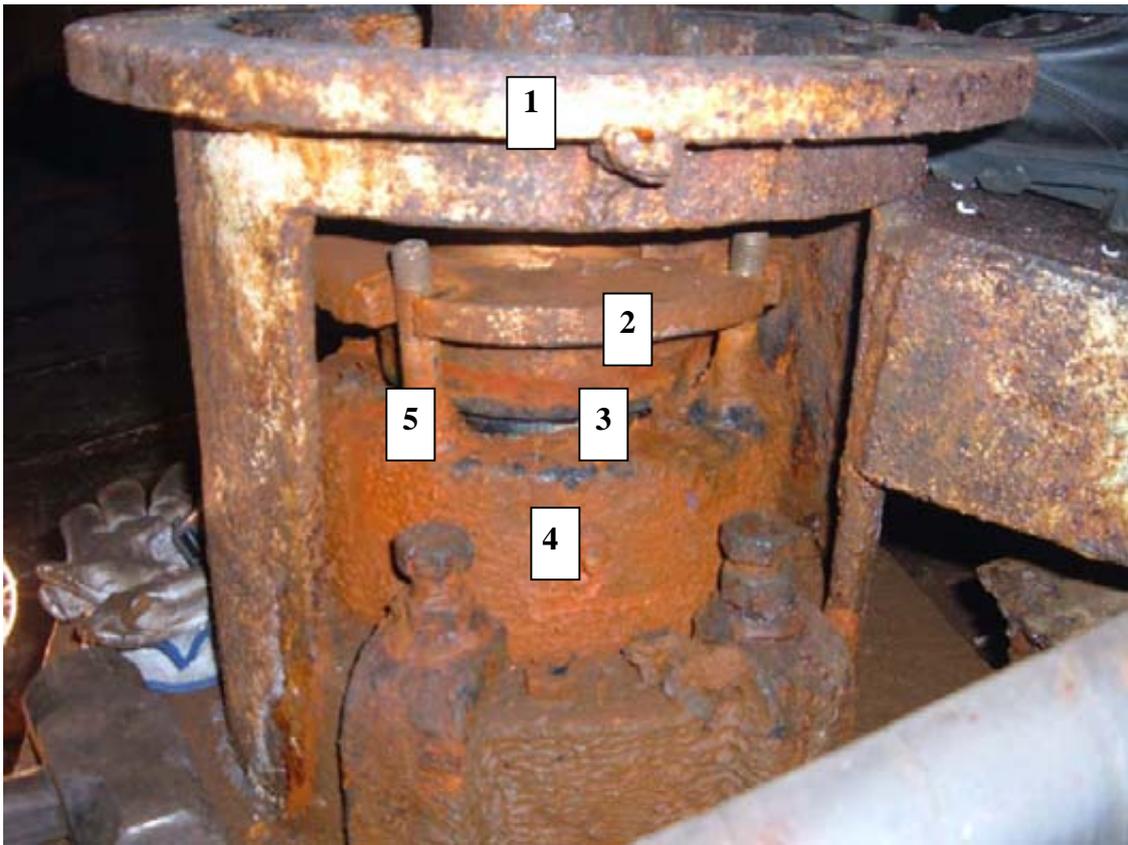


Fig.38

1. Caja del rodamiento
2. Prensa
3. empaquetadura
4. caja de empaquetaduras
5. pernos de amarre de la prensa

En este tipo de situaciones, es absolutamente necesario hacer retiro del eje limera, debido a que en la mayoría de los casos se encuentra con problemas, tanto de corrosión, como de fisuras. Agregando a esto el mal estado de los rodamientos utilizados como descanso, al entrar en contacto con el agua salada, se oxidan y por ende terminan por destruirse. (fig. 39)

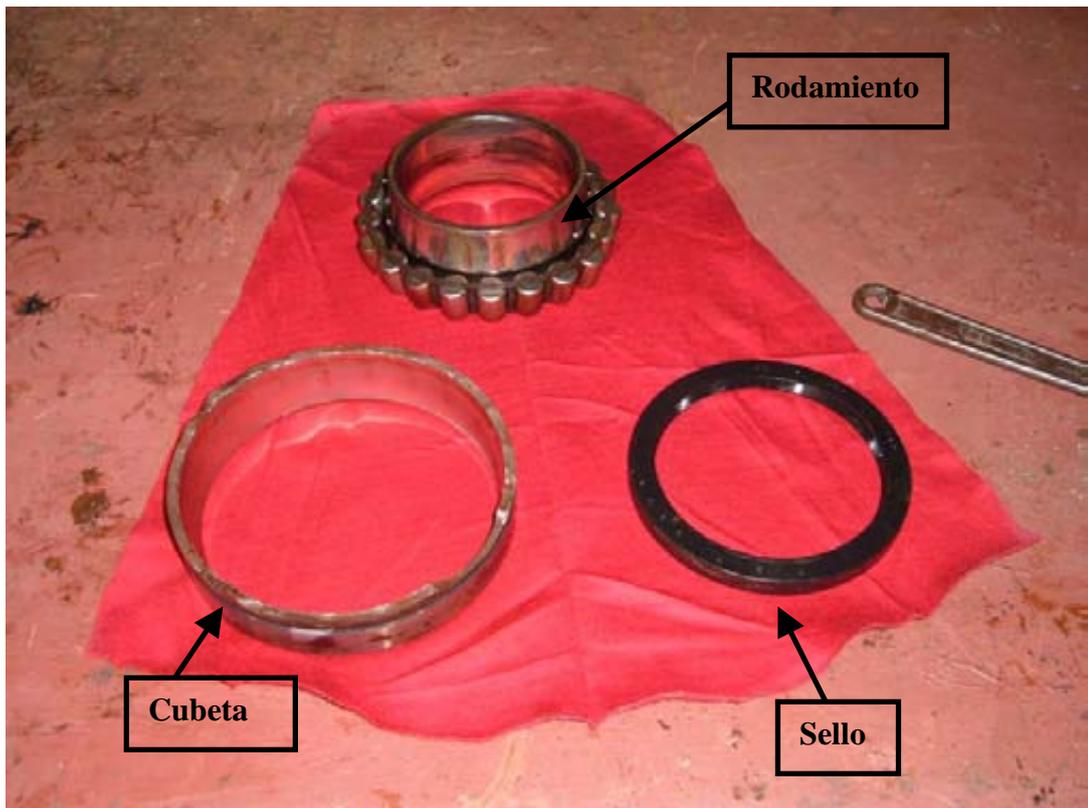


Fig.39

En el caso de la embarcación que aquí se presenta, el eje limera, se encontraba corroído por carecer de la capa de fibra de vidrio correspondiente, de igual manera el cono del eje se encuentra corroído como se muestra en las fotografías y es absolutamente necesario recuperarlo puesto que el asiento de este con el cuadrante es casi nulo. Fig.40



Fig.40

2.2.2. Reparación del cono del eje limera y del cono del cuadrante:

En la figura 41 se puede observar la porosidad de la superficie cónica del cuadrante (el cuadrante es el elemento que recibe la fuerza de los cilindros hidráulicos y la traspa al eje limera para realizar el movimiento de la pala timón). Para poder recuperar este cono es necesario hacer un relleno con soldadura, y la posterior confección de un nuevo cono en torno. Del mismo modo en que se repara el cuadrante, se procede con el cono del eje, debido a que también se encuentra con problemas.

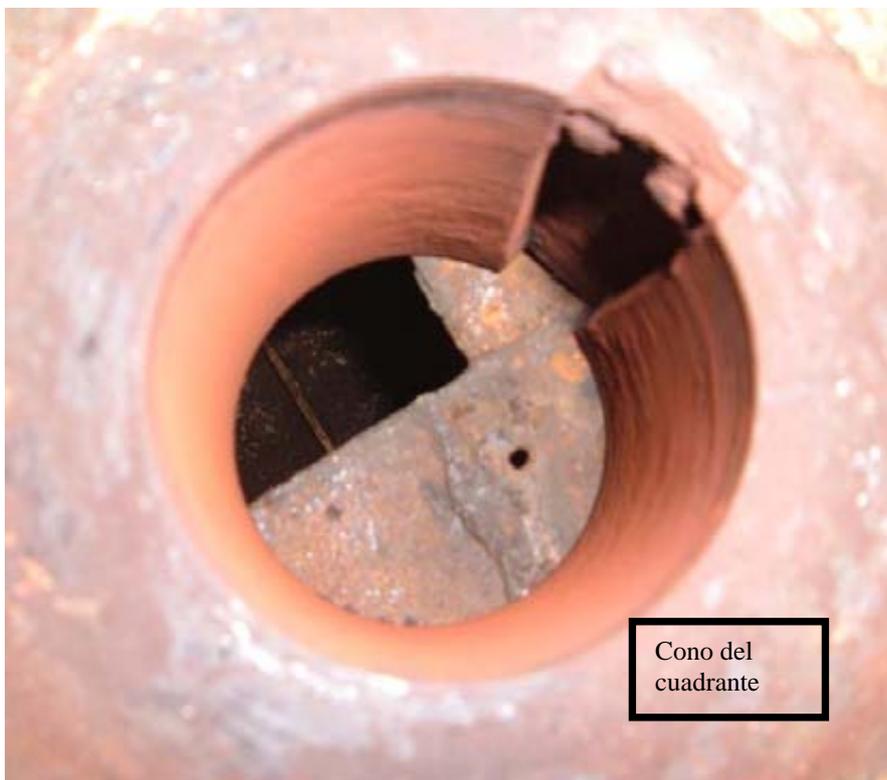


Fig.41

El relleno con soldadura se realiza con electrodo 7018 RH, puesto que el acero del material es un acero SAE 1020. Para ello, en el caso específico de esta embarcación, fue necesario agregar 2 capas de soldadura por toda la superficie del cono puesto que el cordón de soldadura tiene aproximadamente **1,5 mm de espesor**. El resultado de esta reparación fue obtener el cono de ambos elementos y a su vez realizar una prueba de asentamiento para ver el porcentaje de contacto que hay entre ambos. **Fig.42**

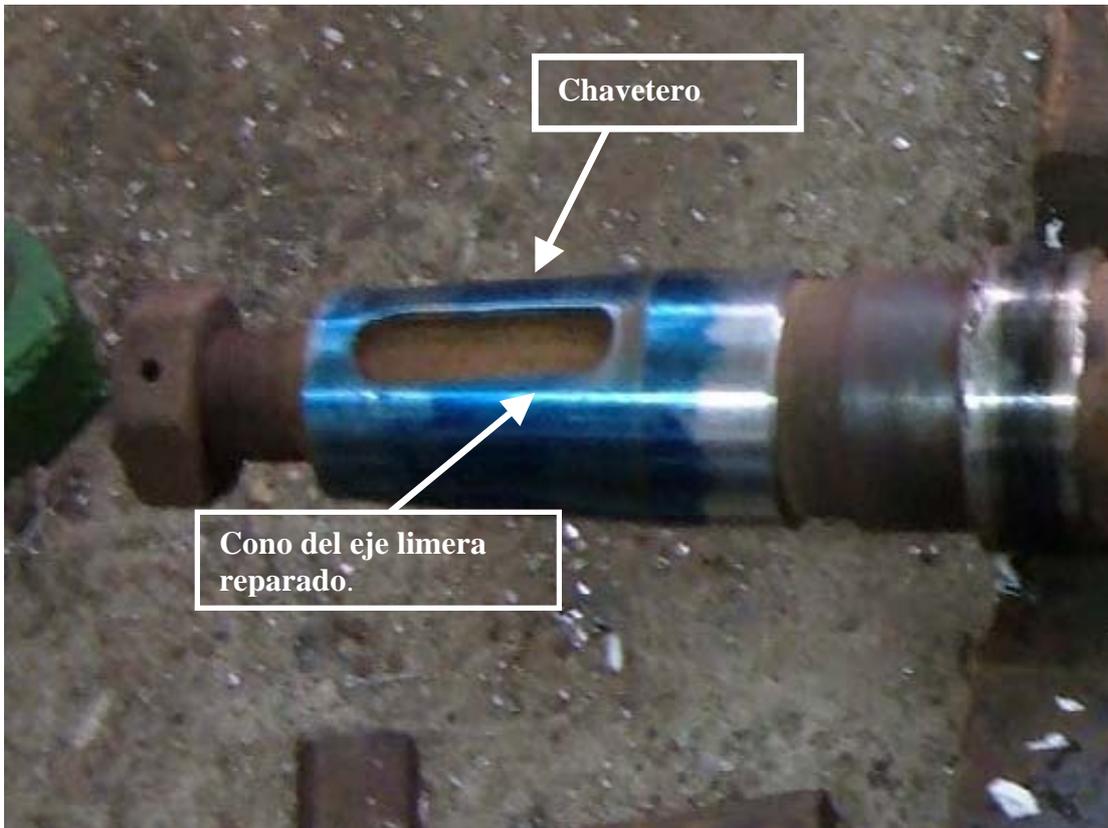


fig.42

Conclusiones

1. Los Cojinetes Thordon debido al las cualidades del material del cual están constituidos, se convierten en unas de las vías de elección mas practicas a la hora de decidir, el material del tubo de codaste de una embarcación, mas aun, en este caso de los buques de pesca, donde la operación de estas embarcaciones hace de estos, elementos propensos a suciedades y a cualquier tipo de elemento extraño.
2. La industria marítima, busca cada día mas elementos cuya eficiencia vaya en aumento y a su vez busca profesionales idóneos, para el manejo de dichos elementos, es por ello que este trabajo representa una guía practica para la solución de calculo, y problemas de elección de materiales, para los diversos descansos que posee la línea de ejes de una embarcación.
3. La experiencia laboral, sumada con los conocimientos aprendidos en la enseñanza superior, son un gran pilar a la hora de hacer de un profesional, un gran profesional, es por ello que concluyo este trabajo, reconociendo lo valioso de los conocimientos recibidos, durante las clases y a demás aquellos que solo siendo empiricos, enseñan a una persona a superarse en el campo laboral.

BIBLIOGRAFIA

1. Tesis. Deformación de la Viga Barco en relación con el diseño y alineamiento de ejes propulsores.
Autor: Manuel A. Aravena Videla. 1983.
2. Anexo F Directemar. Referido a las carenas de buques pesqueros.
3. Enciclopedia Encarta 2006-12-06.
4. Datos Recopilados durante práctica en Astillero Maestranzas Navales de Caldera.

Paginas en Internet:

5. www.e-cojinetes.com
6. www.thordonbearings.com
7. www.ilustrados.com
8. www.wikipedia.com
9. www.polymerplastics.com
10. www.ing.puc.cl
11. www.tranoco.com/espanol/wood.
12. www.uned.es.

Glosario de términos

1. **Polímeros:** Los **polímeros** son macromoléculas (generalmente orgánicas) formadas por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros.
Se clasifican de la siguiente manera:

- Según su origen:
 - Polímeros naturales.
 - Polímeros Sintéticos.
 - Polímeros Semisintéticos.

- Según su mecanismo de polimerización:
 - Polímeros de condensación.
 - Polímeros de adición.
 - Polímeros formados por etapas.
 - Polímeros formados por reacción en cadena.

- Según sus aplicaciones:
 - Elastómeros.
 - Plásticos.
 - Fibras.
 - Recubrimientos.
 - Adhesivos.

- Según su comportamiento a la temperatura
 - Polímeros termoplásticos.
 - Polímeros termoestables.

2. **Material Elastómero**: Son materiales con muy bajo módulo de elasticidad y alta extensibilidad; es decir, se deforman mucho al someterlos a un esfuerzo pero recuperan su forma inicial al eliminar el esfuerzo. En cada ciclo de extensión y contracción los elastómeros absorben energía, una propiedad denominada resiliencia.

3. **Resinas termoestables**: Son resinas que componen los polímeros y que permiten su descomposición química al calentarnos, en vez de fluir. Este comportamiento se debe a una estructura con muchos entrecruzamientos, que impiden los desplazamientos relativos de las moléculas.

4. **Polímeros de Condensación**: Se les denomina polímeros de condensación a aquellos polímeros, en cuya reacción de polimerización se producen moléculas de bajo peso molecular, como por ejemplo el agua.

5. **P.T.F.E**: Es el politetrafluoretileno (PTFE), $(\text{---CF}_2\text{---CF}_2\text{---})_x$, una resina resistente al calor y a los agentes químicos. Fue sintetizado por primera vez en 1938 y se comercializó con el nombre de teflón en 1950. Se obtiene a partir del tetrafluoretileno, $\text{CF}_2\text{---CF}_2$, por polimerización a altas presiones con un iniciador de radicales. La energía que se desprende en la reacción de polimerización es muy elevada y hay que tomar precauciones para evitar explosiones.

Es un plástico resistente al calor hasta unos 300 °C y presenta una inercia química extraordinaria a todos los disolventes y agentes químicos, excepto a los metales alcalinos en estado fundido y al flúor a presión y temperaturas elevadas.

6. **Fenólicos Laminados**: (BAKELITA) Son resinas termoestables que se forman por poli-condensación de los fenoles (ácido fénico o fenol) y el formaldehído o formol. Este último es el estabilizador de la reacción. Su proporción en la solución determina si el material final es termoplástico o termoestable.

7. Lubricidad: Es la capacidad que tiene un lubricante para reducir el rozamiento y facilitar el movimiento entre piezas.

8. Conductividad Térmica: Es la capacidad de los materiales para dejar pasar el calor. En otras palabras, la conductividad térmica es la capacidad de los elementos de transferir el movimiento cinético de sus moléculas a sus propias moléculas adyacentes o a otros elementos cercanos.

Cuando se calienta la materia varía el comportamiento de su estado molecular, incrementándose su movimiento. Es decir, las moléculas salen de su estado de inercia o reposo y adquieren un movimiento cinético provocado por el aumento de temperatura. Si a un elemento o cuerpo se le incrementa la temperatura por cualquier medio, decimos que la materia se calienta, este calor se desplaza desde la zona más caliente hasta el punto más alejado del foco calórico, variando su temperatura en la distancia de desplazamiento del calor y en el tiempo que transcurre en recorrer desde el punto más caliente hasta el lugar más frío.

La inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

9. Isotrópico: Se define como isotropía al hecho de que ciertas magnitudes vectoriales medibles dan resultados idénticos con independencia de la dirección escogida para la medida, es decir al referirse del carácter isotropico de las estructura polimérica, nos referimos a que posee las mismas propiedades, en todas direcciones.

10. Absorción Volumétrica: Es la capacidad que posee un material para absorber agua en un tiempo determinado y bajo condiciones específicas de temperatura y presión.

11. Polimerizar: (polimerización) se denomina polimerización a la reacción por la cual se sintetiza un polímero a través de sus monómeros.

12. Vibración en Torbellino: Son vibraciones en torbellino aquellas que se producen en rodamientos lubricados a presión y que funcionan a velocidades relativamente altas, ocurren por encima de la segunda velocidad crítica del rotor, también son consideradas para el momento de calculo de línea de ejes.

13. Arenado SA-2: La preparación de superficie con arenado se designa con las letras "Sa". Antes del arenado hay que eliminar cualquier capa gruesa de óxido con rasquetas. También hay que eliminar el aceite, la grasa y la suciedad visible. Después del arenado la superficie debe estar limpia de polvo y residuos sueltos.

- **ISO-Sa-1 arenado ligero**

A simple vista, sin aumento, la superficie debe estar libre de aceite, grasa y suciedad y sin ningún tipo de zinc mal adherido, ni óxido, ni revestimientos de pintura ni materias extrañas.

- **ISO-Sa-2 arenado profundo**

A la vista, sin aumento, la superficie debe estar libre de aceite, grasa y suciedad y sin la mayoría del zinc , del óxido, de los revestimientos de pintura y de materias extrañas. Cualquier contaminación residual debe estar firmemente adherida.

- **ISO-Sa-2 1/2 arenado muy profundo**

A la vista, sin aumento, la superficie estará libre de aceite, grasa y suciedad visible y sin calamina, óxido, revestimientos de pintura y de materias extrañas. Cualquier huella de contaminación sólo será con manchas insignificantes en forma de puntos o bandas.

- **ISO-Sa-3 arenado hasta que el acero esté visiblemente limpio**

A la vista, sin aumento, la superficie estará libre de aceite, grasa y suciedad visible y sin zinc, óxido, revestimientos de pintura y materias extrañas. Tiene que tener un color metálico uniforme.

14. Carbofix: Es un cemento cerámico, utilizado para evitar la pérdida de metal blanco durante el metalado. Posee las mismas características de la cerámica.

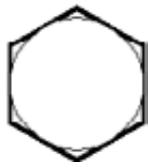
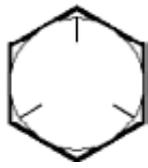
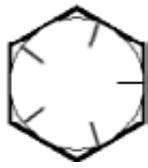
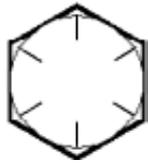
15. Plumbagina: El grafito también se llama plumbagina o plomo negro, es un material con interacción entre capaz de átomos muy débiles lo que lo hace un buen lubricante sólido.

Ideal para evitar el contacto entre superficies metálicas. Tal es el caso del metal blanco con el elemento de fijación a la hora del metalado.

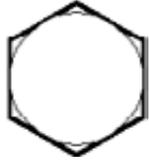
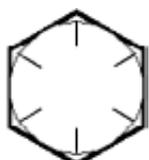
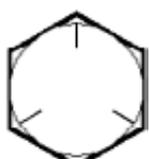
16. Colada: Se le denomina colada al metal blanco fundido, limpio y listo para ser vaciado en el descanso a metalar.

17. Cuadrante: El cuadrante es la pieza que pieza que recibe la fuerza de los cilindros hidráulicos, para entregarla al eje de limera y por consiguiente a la pala timón.

Las normas de prueba de pernos indican cargarlo contra su propio hilo, sin utilizar una probeta representativa. Esto genera un valor llamado carga de prueba, la cual puede utilizarse para diseñar en reemplazo de la resistencia a la fluencia. Se adjuntan las marcas con que se indica el grado de resistencia de los pernos, para las normas SAE, ASTM y Métrica. Se adjunta también la tabla de marcas de los productos American Screw.

Marcado de pernos de acero grado SAE					
Número de grado SAE	Rango del diámetro [inch]	Carga de prueba [kpsi]	Esfuerzo de ruptura [kpsi]	Material	Marcado de la cabeza
1 2	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$ $\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	Acero al carbono, Templado y Revenido	
5.2	$\frac{1}{4}$ - 1	85	120	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	Acero al carbono aleado, Templado y Revenido	
8.2	$\frac{1}{4}$ - 1	120	150	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	

Marcas para pernos de acero grado ASTM

Designación ASTM	Rango del diámetro [inch]	Carga de prueba [kpsi]	Esfuerzo de ruptura [kpsi]	Material	Marcado de la cabeza
A307	¼ a 4			Acero de bajo carbono	
A325 tipo 1	½ a 1 1⅛ a 1½	85 74	120 105	Acero al carbono, Templado y Revenido	
A325 tipo 2	½ a 1 1⅛ a 1½	85 74	120 105	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
A325 tipo 3	½ a 1 1⅛ a 1½	85 74	120 105	Acero recubierto, Templado y Revenido	
A354 grado BC				Acero aleado, Templado y Revenido	
A354 grado BD	¼ a 4	120	150	Acero aleado, Templado y Revenido	
A449	¼ a 1 1⅛ a 1½ 1¾ a 3	85 74 55	120 105 90	Acero al carbono, Templado y Revenido	

A490 tipo 1	½ a 1½	120	150	Acero aleado, Templado y Revenido	
A490 tipo 3				Acero recubierto, Templado y Revenido	

Propiedades mecánicas de elementos roscados de clase métrica

Clase	Rango del diámetro	Carga de prueba [MPa]	Esfuerzo de ruptura [MPa]	Material	Marcado de la cabeza
4.6	M5 - M36	225	400	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
4.8	M1.6 - M16	310	420	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
5.8	M5 - M24	380	520	Acero de bajo carbono ó acero al carbono	
8.8	M16 - M36	600	830	Acero al carbono, Templado y Revenido	
9.8	M1.6 - M16	650	900	Acero al carbono, Templado y Revenido	
10.9	M5 - M36	830	1040	Acero de bajo carbono martensítico, Templado y Revenido	
12.9	M1.6 - M36	970	1220	Acero aleado, Templado y Revenido	

MARCAS DE GRADOS DE RESISTENCIA PERNOS DE ACERO

MARCA A.S. GRADO RESISTENCIA	ESPECIFICACION			ALGUNOS USOS RECOMENDADOS	Resistencia a la tracción mínima [Kg/mm ²]	Limite de fluencia mínima [Kg/mm ²]	DUREZA
	SAE grado	ISO clase	ASTM				
		3,6		Para requerimientos menores de resistencia, metalmecánica, motores eléctricos, línea blanca. electrónica, usos generales.	34	20	53 - 70 Rb
	J429 grado 1 ¼" a 1 ½"	4,6	A307 grado A y B	Para requerimientos de resistencia media, construcción de máquinas livianas, automotriz (piezas no afectas a fuertes tensiones), máquinas agrícolas, estructuras livianas.	42	23	70 - 95 Rb
		8,8	A449	Para requerimientos de alta resistencia a la tracción, ruedas de vehículos, partes de motores de tracción, cajas de cambio, máquinas herramientas, matrices	80	64	22 - 32 Rc
			A325	Para requerimientos de alta resistencia a la tracción y otros, especialmente para juntas estructurales exigidas mecánicamente. Debe trabajar con TU y golilla de la misma calidad	Hasta 1 φ 85 de 1 1/8 a 1 1/2 φ 74	Hasta 1 φ 65 de 1 1/8 a 1 1/2 φ 57	Hasta 1 φ 23 - 35 Rc de 1 1/8 a 1 1/2 φ 19 - 31 Rc
			A490	Para requerimientos de alta resistencia a la tracción y alta temperatura. Debe trabajar con TU y golilla de la misma calidad	105	81	32 - 38 Rc
	8	10,9		Para requerimientos de alta resistencia a la tracción, flexión, cizalle, etc. Culata de motores, paquete de resortes, pernos para ruedas vehículos pesados, bielas, etc.	105	88	31 - 38 Rc