



T
621.821
MUN

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica
y Ciencias de la Producción

**“Uso de Material Compuesto
en Chapas para cojinetes”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO

Presentada por:

JORGE A. MUÑOZ MARTINEZ

Guayaquil - Ecuador

**Año
1999**



D-19607

AGRADECIMIENTO

Al ING. IGNACIO WIESNER por sus acertadas enseñanzas y su colaboración incondicional en la realización de este trabajo.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron conmigo para efectuar este trabajo.

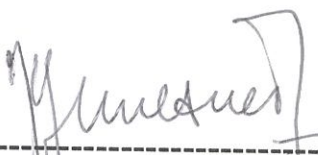
DEDICATORIA

A LA MEMORIA DE MIS PADRES

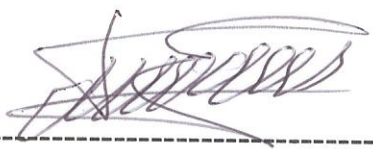
A MIS HIJOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

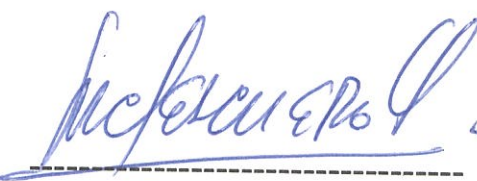
Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP



Ing. Ignacio Wiesner F.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Edmundo Villacís M.
VOCAL



Ing. Manuel Helguero G.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA



“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Jorge A. Muñoz Martínez

RESUMEN

En el presente trabajo se hace primero una revisión bibliográfica de los materiales tradicionales, se revisa la información sobre los materiales compuestos matriz metálica y una parte sobre sistemas de lubricación. Como otro objetivo de este proyecto tenemos la reparación de un elemento mecánico (cojinetes) de una turbina a vapor, la misma que es parte del sistema de propulsión del B.A.E. Rafael Morán Valverde, el cual es una de las unidades que componen la flota de la armada del Ecuador.

Además tenemos la elaboración del material para remetalar los cojinetes dañados de tal manera que la turbina quede operativa. Para esto fue necesario investigar el historial de la máquina para detectar y verificar la falla, y luego proceder a hacer análisis químico y metalográfico para determinar las características del material antifricción de los cojinetes; y se encontró que es un material compuesto de matriz metálica constituido por aleación Babbitt y Grafito.

Con toda esta información se procedió a realizar el trabajo quedando la turbina reparada.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	VI
INTRODUCCIÓN.....	1
 I. ESTUDIO SOBRE COJINETES Y MATERIALES	
1.1. Cojinetes de deslizamiento y su función	3
1.2. Aleación en base estaño	12
1.3. Materiales compuestos con matriz metálica	16
1.4. Aplicaciones para alta velocidad	19
1.5. Sistemas de lubricación y fallas típicas de los cojinetes	20
 II. MEMORIA DE LA REPARACIÓN	
2.1. Reseña de aplicación específica	27

ÍNDICE DE FIGURAS

			Pág.
Figura	1	Cojinete radial	5
Figura	2	Cojinete axial de simple efecto	6
Figura	3	Cojinete axial de doble efecto	6
Figura	4	Cojinete radial axial	9
Figura	5A	Cojinete bimetálico	9
Figura	5B	Muestra de variación de la vida del cojinete Con el espesor de la capa superficial en coji- netes Bimetálicos y Trimetálicos	10
Figura	6	La figura ilustra el principio de operación de la lubricación Hidrodinámica	23
Figura	7	Muestra la falla por fatiga en la superficie Del cojinete	26
Figura	8	Muestra la falla por erosión eléctrica en la Superficie del cojinete	26
Figura	9	Dibujo esquemático de agitador de la mezcla Grafito con la aleación Babbitt	36
Figura	10	Diagrama de flujo de proceso de fundición de	37

material compuesto con Matriz Metálica

Figura	11	Diagrama de flujo para la reparación de los cojinetes	50
Figura	12	Claros radiales y medidas del eje	51
Figura	13	Medidas del eje de la turbina	52
Figura	14	Medidas y claros del eje y los cojinetes	63
Figura	15	Plano de los cojinetes	65

ÍNDICE DE TABLAS

			Pág.
Tabla N°	1	Composición química de las aleaciones ASTM B23 en base estaño	14
Tabla N°	2	Propiedades mecánicas de la aleación en base estaño ASTM B23 grado 1	15
Tabla N°	3	Propiedades mecánicas de la aleación en base estaño ASTM B23 grado 2	16
Tabla N°	4	Propiedades mecánicas de la aleación en base estaño ASTM B23 grado 3	16
Tabla N°	5	Claros radiales y medidas del eje	51
Tabla N°	6	Medidas del eje de la altura	52
Tabla N°	7	Medidas y claros del eje y los cojinetes	63
Tabla N°	8	Prueba de funcionamiento de los cojinetes en la turbina	64

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

				Pág.
Fotografía	Nº	1	Acoplamiento turbina – cajas de reducción.	31
Fotografía	Nº	2	Cojinete con falla	32
Fotografía	Nº	3	Se observa una concentración de Cuboides de compuestos SnCu.	42
Fotografía	Nº	4	Muestra el instante en que se están colando los lingotes de material compuesto.	46
Fotografía	Nº	5	Muestra el control del peso de los Lingotes.	47
Fotografía	Nº	6	Muestra una microestructura de grano más fino y cuboides SnCu pequeños y en mayor concentración que en la fotografía N°3.	48
Fotografía	Nº	7	Muestra las partes que constituyen el molde para la fundición de las	54

chapas.

Fotografía	N°	8	Muestra el momento de precalentamiento del molde	56
Fotografía	N°	9	Muestra el instante en que se están colando las chapas de los cojinetes.	57
Fotografía	N°	10	Ilustra el proceso de bombeo de la Colada dentro del molde.	59
Fotografía	N°	11	Muestra el cojinete con la chapa de Material antifricción.	60
Fotografía	N°	12	Ilustra el proceso de maquinado de las chapas en el torno para darle forma y medidas indicadas en plano.	61

INTRODUCCIÓN

La elaboración de cojinetes de deslizamiento para aplicación en turbinas navales, constituye un campo de trabajo de algunos especialistas como son; Ingenieros Mecánicos, Metalúrgicos, Químicos, etc. y con el transcurrir de los días se ha ido incrementando la investigación y desarrollo de nuevos materiales que reúnan las características que requiere esta aplicación tal como el mejoramiento de las propiedades mecánicas. La combinación de dos o mas materiales uno de los cuales es un metal y que individualmente tienen limitaciones en sus propiedades, al combinarse mediante técnicas de fundición apropiadas permiten lograr este objetivo; a estos materiales se les denomina materiales compuestos con matriz metálica y son de reciente investigación en el INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MASSACHUSET. En el presente trabajo uno de los objetivos es la reparación de los cojinetes de una turbina naval a vapor; otro objetivo es la obtención del material compuesto en base a la aleación Babbitt es base estaño ASTM B23 N°1 con adición de grafito en polvo mediante técnicas de agregar lentamente el grafito al metal fundido y con un dispositivo electromecánico que al introducirlo en el

metal líquido produzca una fuerte agitación de tal manera que se homogenice la mezcla. Con la adición del grafito a la aleación Babbitt se logra mejorar la resistencia al desgaste ya que este actúa como lubricante sólido y por ende se aumenta la vida útil del cojinete.

CAPÍTULO I

ESTUDIO SOBRE COJINETES Y MATERIALES

1.1. COJINETES DE DESLIZAMIENTO Y SU FUNCIÓN

Un cojinete de deslizamiento (cojinete plano) es un elemento de máquina diseñado para transmitir cargas o fuerzas de reacción a un eje que rota relativamente con respecto al cojinete. En muchas aplicaciones los cojinetes de deslizamiento (planos) presentan ventajas sobre cojinetes de contactos (de rodillos o de bolas) ventajas tales como: requieren pequeños espacios, tienen facultad para trabajar con lubricación marginal, poseen capacidad para soportar altas cargas específicas y son resistentes a la corrosión. Se clasifican de acuerdo a su función y según su construcción, a saber:

DE ACUERDO A SU FUNCIÓN

Cojinetes Radiales:



Son aquellos en que las cargas o fuerzas de reacción que transmiten son aplicadas radialmente, es decir, perpendicularmente a la línea central de rotación del eje, su forma es cilíndrica, pueden ser un cilindro completo o un segmento de cilindro. Fig. N°1.

Cojinetes Axiales o de Empuje:

Son aquellos en que la carga o fuerza de reacción actúa paralelamente a la línea central de rotación del eje, su forma es de anillo plano o segmentos de anillos y pueden ser de forma simple o doble efecto. Son de simple efecto cuando la fuerza de empuje actúa siempre en un solo sentido, Fig. N°2, y de doble efecto, cuando esta fuerza actúa en los dos sentidos. Fig. N°3

Cojinetes Radial – Axial:

Son aquellos diseñados para transmitir al mismo tiempo fuerzas radiales y axiales, y su forma es del tipo de una brida. Fig. N°4.

DE ACUERDO A SU CONSTRUCCIÓN

Los cojinetes de deslizamiento también son frecuentemente clasificados

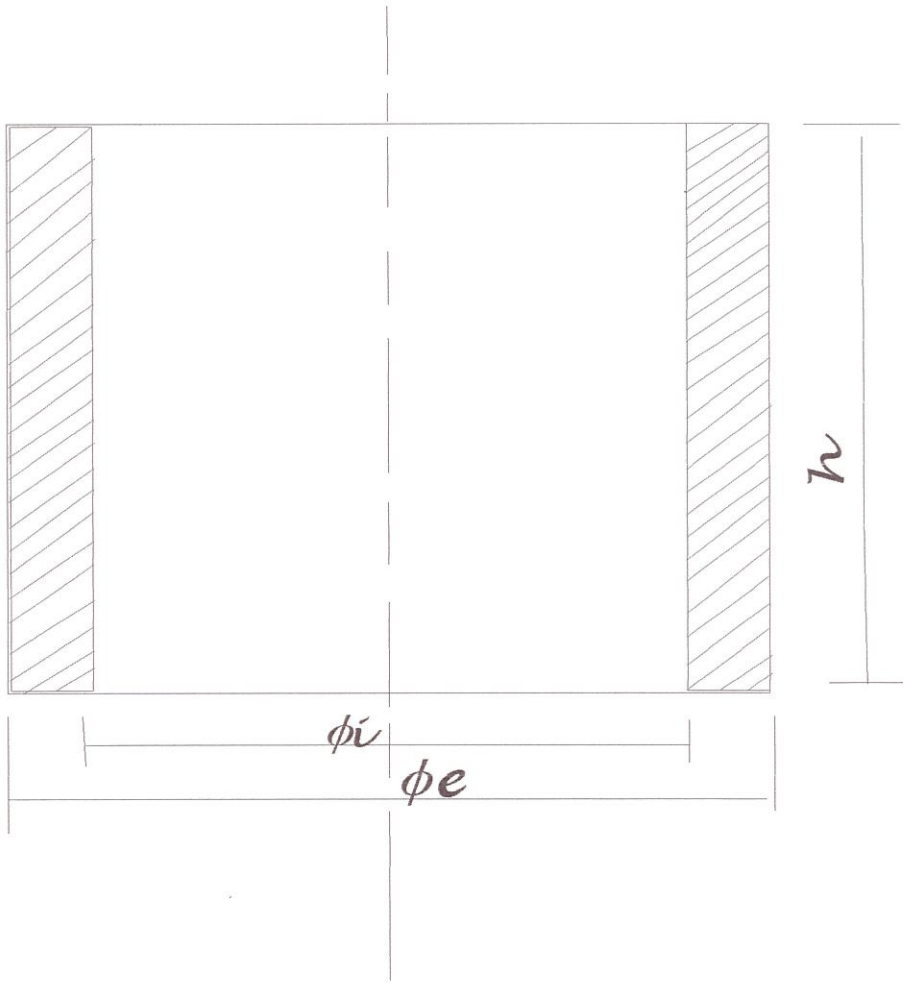


FIG. 1 COJINETE RADIAL



FIG. N°2 COJINETE DE SIMPLE EFECTO

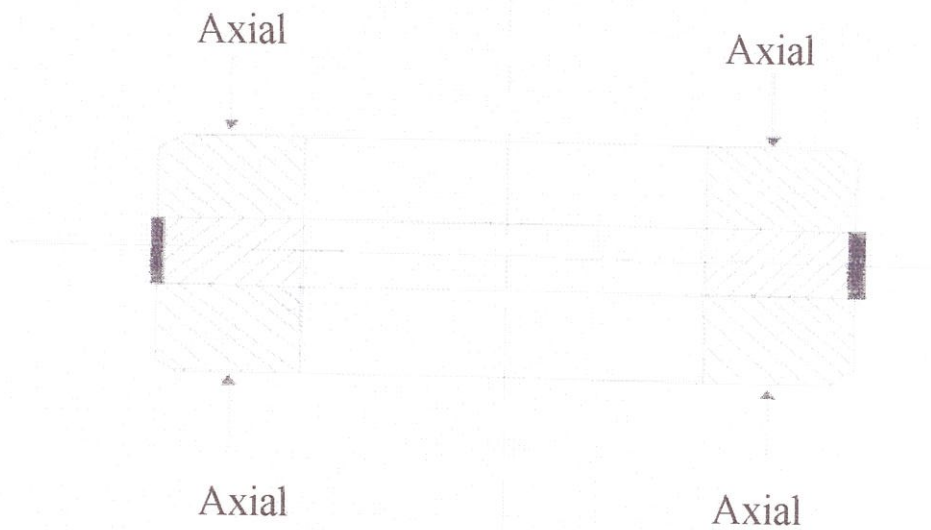


FIG. N° 3 COJINETE AXIAL DE DOBLE EFECTO

de acuerdo a su construcción estructural así tenemos:

Cojinetes Compactos:

Son aquellos que son contruidos de un solo metal, es decir, el material del cuerpo y el de la capa de deslizamiento es el mismo, tal es el caso del bronce.

Cojinetes Bimetálicos:

Son aquellos en que el cuerpo, es decir, el respaldo es construido de un metal fuerte, acero de bajo carbono, y la capa superficial de deslizamiento es una aleación en base estaño, o en base plomo, etc. Fig. N°5A. Este sistema bimetálico hace que mejore las propiedades tales como esfuerzo a la fatiga, variando el espesor de la capa superficial. La Fig. N°5B nos demuestra lo indicado.

Cojinetes Trimetálicos:

Todos los cojinetes trimetálicos están contruidos por un cuerpo o respaldo de acero, una capa intermedia de un material con alta resistencia a la fatiga y una delgada capa superficial de aleación en base estaño o

base plomo de aproximadamente 0,001” de espesor. El uso de dos o tres capas separadas de diferentes aleaciones provee un significativo desarrollo de combinación de propiedades que no pueden ser contenidas por un solo metal, además que se logra bajar el costo del cojinete que en combinación con las excelentes propiedades es el factor más importante.

Los factores que se consideran más importantes desde el punto de vista de la selección del material son los siguientes: Carga y velocidad, sistema de lubricación y coeficiente de fricción; coeficientes de transferencia de calor y temperatura de trabajo y resistencia a la corrosión.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA COJINETES

La naturaleza de las condiciones bajo las cuales los cojinetes planos pueden funcionar y el amplio rango en el que estas condiciones pueden operar en lo concerniente a propiedades de material para cojinetes son de dos clases: Propiedades de superficie que están asociados con las capas inmediatamente adyacentes y propiedades de volumen. Ellas pueden ser definidas y estudiadas en términos de las siguientes características:

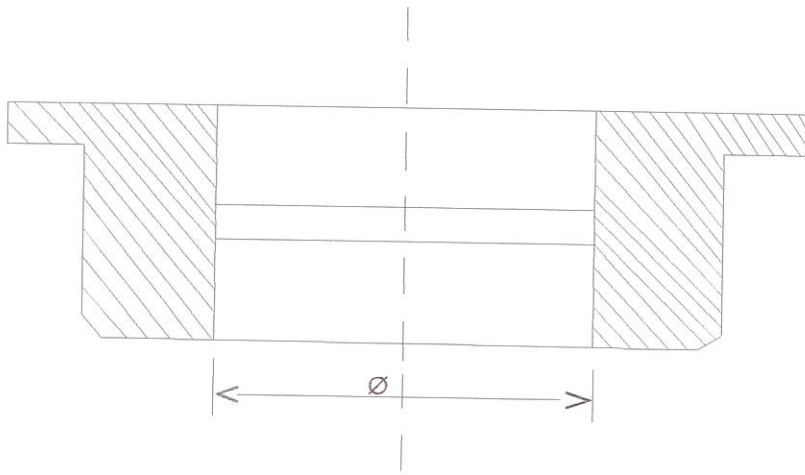


Figura N° 4

COJINETE RADIAL - AXIAL

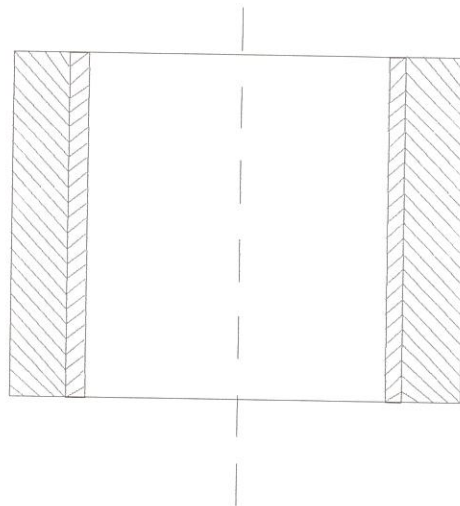


Figura N° 5A

COJINETE BIMETALICO

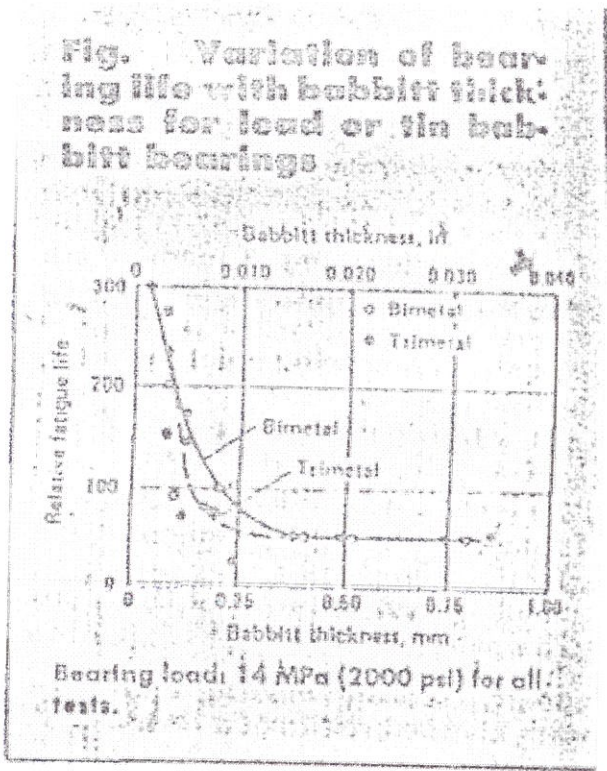


Figura N° 5B

MUESTRA LA VARIACIÓN DE LA VIDA DEL COJINETE CON EL
ESPESOR DE LA CAPA SUPERFICIAL EN COJINETES
BIMETALICOS Y TRIMETALICOS

COMPATIBILIDAD:

Es la característica del material para poder operar en contacto con algún material abrasivo.

CONFORMABILIDAD:

Es la facultad del material para ceder y recuperar ligeros desalineamientos y variaciones de ajustes en el contorno del eje o de la chumacera del cojinete:

ESFUERZO DE FATIGA:

Es la capacidad del material para funcionar bajo cargas cíclicas, pero bajo el límite elástico fuera de él se desarrollan grietas o concavidades en la superficie del material.

CAPACIDAD DE CARGA:

Es la máxima unidad de presión bajo la cual un material puede operar con excesiva fricción, porque fuera de ella pueden ocurrir daños por fatiga.

RESISTENCIA A LA CORROSIÓN:

Es la capacidad del material para resistir ataques químicos o aceites lubricantes contaminados.

DUREZA:

Es la capacidad del material para resistir la deformación elástica bajo la acción de cargas, los esfuerzos convencionalmente medidos son de compresión, de corte, y de tensión.

1.2. ALEACION EN BASE DE ESTAÑO

Los materiales en base estaño para cojinetes conocidos comercialmente como metales antifricción son sustancialmente aleaciones de estaño, antimonio y cobre. En estas aleaciones los contenidos de zinc, aluminio, arsénico, bismuto y hierro fundido debe ser limitado.

Las aleaciones con mayor contenido de estaño tal como las ASTM de grado, uno, dos, tres; y las SAE 11 y 12 presentan la particularidad de que su contenido máximo de plomo es de 0,50% o menos porque un porcentaje mayor causaría un efecto

deteriorante en el esfuerzo de ellas a temperaturas de 300°F ó más. El plomo y el zinc forman una aleación eutectica a 361°F. En cojinetes cuya temperatura de trabajo exceda este punto la aleación se vuelve frágil como resultante de la formación de una fase líquida entre ellos. En pruebas de compresión de metales para cojinetes de deslizamientos se ha determinado que la deformación total es una función del tiempo de duración de la aplicación de la carga la cual es aplicada por un tiempo estándar (30 seg.) es de considerable valor para el propósito del control de calidad de fabricación de cojinetes. En los materiales de base estaño para cojinetes existe una relación bastante estrecha entre la dureza Brinell y sus propiedades a la compresión. Comparadas con otros materiales para cojinetes, las aleaciones en base estaño tienen relativamente baja resistencia a la fatiga, la cual obliga operar a condiciones de baja carga.

METALURGIA DE LAS ALEACIONES EN BASE ESTAÑO

Las aleaciones que contienen cerca de 0,5% a 8% de cobre y más de 8% de antimonio muestran cuboides primarios de antimonio y estaño como también agujas del compuesto rico en cobre en la matriz de solución

PROPIEDADES MECÁNICAS

De nuestro estudio realizado para las aleaciones en base estaño hemos observado que las propiedades mecánicas dependen en gran parte de su composición química y de la temperatura de trabajo del cojinete. Tablas N°2, 3, 4.

TABLA N° 2

PROPIEDADES MECANICAS DE LA ALEACIÓN EN BASE
ESTAÑO ASTM B23 GRADO 1

Table Mechanical properties of chill cast tin babbitt alloy 1

Temperature		Compressive yield strength				Impact energy	
		0.125% set		0.2% set		(Izod)	
°C	°F	MPa	ksi	MPa	ksi	J	ft-lb
20(a)	68(a)	30.3	4.4	43.4	6.3	3.4	2.5
60	140	...	...	35.8	5.2	...	...
100(b)	212(b)	17.9	2.6	...	...	4.1	3.0
150	302	...	...	...	...	4.5	3.3
200	392	...	...	6.9	1.0	3.1	2.3

(a) Compressive strength at 25% set, 89.2 MPa (12.8 ksi); hardness, 17 HB. (b) Compressive strength at 25% set, 47.6 MPa (6.9 ksi); hardness, 8 HB.

TABLA N°3

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN EN BASE
ESTAÑO ASTM B23 GRADO 2



Table Mechanical properties of chill cast tin babbitt alloy 2

Temperature		Tensile strength		Elongation	Reduction
°C	°F	MPa	ksi	(a)(%)	in area, %
20	68(b).....	77	11.2	18	25
49	120.....	63	9.2	23	27
100	212(c).....	45	6.5	23	28
149	300.....	28	4.0	32	38
175	345.....	20	2.9	38	44

(a) Gage length equals 4 x area. (b) Compressive yield strength, 0.125% set, 42 MPa (6.1 ksi); compressive strength, 25% set, 103 MPa (14.9 ksi). (c) Compressive yield strength, 0.125% set, 21 MPa (3.0 ksi); compressive strength, 25% set, 60 MPa (8.7 ksi).

TABLA N° 4

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ALEACIÓN EN BASE

ESTAÑO ASTM B23 GRADO 3

Table Mechanical properties of chill cast tin babbitt alloy 3

Temperature		Compressive yield strength				Compressive strength		Impact energy	
°C	°F	0.125% set	0.3% set	0.3% set	0.3% set	25% set	25% set	J	ft.-lb.
		MPa	ksi	MPa	ksi	MPa	ksi		
20	68.....	46	6.6	55	8	117	17	1.2	0.9
60	140.....	.....	.....	47	6.8	.....	.....	1.3	1.0
100	212.....	21	3.1	35	5.1	68	9.9	1.3	1
150	302.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1.5	1.1
200	392.....	.....	.....	7	1	.....	.....	0.9	0.7

1.3. MATERIALES COMPUESTOS CON MATRIZ METALICA

(METAL MATRIX COMPOSITE MMC).

GENERALIDADES SOBRE MATERIALES COMPUESTOS

Son combinaciones de dos o más materiales (uno de los cuales es un metal) en el cual las propiedades promedios corresponden por combinaciones sistemáticas de diferentes constituyentes. Materiales monolíticos convencionales, tienen limitaciones con relación a la combinación de esfuerzo, tenacidad, coeficiente de expansión y densidad. Los materiales compuestos de matriz metálica son hechos de fibras continuas o discontinuas o partículas puestas en un metal cuyo resultado combina elevadas resistencias específicas, módulos de elasticidad específicos, además estas combinaciones pueden generar propiedades ingenieriles tales como resistencia a altas temperaturas, a la fatiga, propiedades de amortiguación a vibraciones, coeficiente de expansión térmica y conductividad eléctrica. Las aleaciones de tipo industrial con microestructura que identifican dos fases en una mezcla grosera no han sido desconocidas a través del tiempo tal es el caso del hierro fundido y las aleaciones de aluminio silicio de amplio uso por los fundidores. Existen varios métodos para producir MMC incluyendo técnicas de fundición especiales lo que da la ventaja de producirlos en forma de piezas prácticamente acabadas a un menor costo, lo que es importante

para la Industria Automotriz de los países desarrollados. Los MMC son hechos por medio de la introducción de fibras o partículas en metales fundidos o parcialmente solidificados y posteriormente vertidos en moldes. Grafito/Magnesio, Grafito/Aluminio y muchas otras fibras o partículas se usan para reforzar los metales.

Técnicas de Fundición

Un requerimiento básico de los procesos de fundición de MMC es el contacto íntimo inicial entre la fase cerámica y la aleación fundida.

Esto se consigue mezclando las partículas cerámicas en la aleación fundida o introduciendo la aleación fundida a presión en la fase cerámica.

- Adición de partículas total o parcialmente con fuerte agitación en el metal fundido.
- Inyección de la fase discontinúa en la fundición con una pistola de inyección.
- Dispersión de gránulos o plaquetas formadas por polvos.
- Adición de polvos a una fundición agitada electromagnéticamente para obtener una suspensión uniforme.

- Dispersión centrífuga de partículas en una fundición.

La aplicación más prominente para aleación de aluminio/partículas de grafito, es para cojinetes de deslizamiento, el cual viene a ser menos costoso, liviano y autolubricado, comparado con otros cojinetes corriente hechos de aleaciones conteniendo cobre, plomo, estaño, cadmio. Pistones fundidos de aleación de Aluminio/Grafito: han sido usados en cilindros simples de hierro para realizar evolución del material y se ha demostrado que se reduce la fricción y por ende el consumo de combustible y la pérdida de potencia dada la baja densidad los compuestos en base Aluminio/Grafito se reduce el sobre peso y se ha probado que en las máquinas que no pueden arrancar en frío o cuando falla el lubricante, ahí actúan las excelentes propiedades antifricción de los MMC, aluminio/grafito.

1.4. APLICACIONES PARA ALTA VELOCIDAD

En aplicaciones para alta velocidad, es decir en máquinas en que el eje rota a más de 3.750RPM, el material antifricción que constituye la superficie de trabajo el cojinete deberá tener características que le

émbolos se deslizan dentro de sus cilindros, el eje de una tribuna girando dentro de cojinetes de deslizamiento. En todas estas aplicaciones se requiere lubricación.

TIPOS DE LUBRICACIÓN

Podemos identificar cinco formas de lubricación:

- Hidrodinámica
- Hidroestática
- Elastohidrodinámica
- De película mínima o al límite;
- Con material sólido



LUBRICACIÓN HIDRODINAMICA

Es aquella en que las superficies del cojinete que soportan las cargas están separadas por una capa de lubricante, relativamente gruesa, de tal manera de impedir el contacto entre metal. Este tipo de lubricación no depende de que el lubricante sea introducido a presión, aunque si se puede hacer, sin embargo si se requiere que el abastecimiento del lubricante sea adecuado mientras la máquina está operando, la presión en

el lubricante la ejerce la superficie en movimiento que lo arrastra hacia una zona en forma de cuña, a una velocidad suficientemente grande que da la presión necesaria para separar las superficies, actuando la carga que actúa sobre el cojinete. La fig. N°6 ilustra lo indicado.

LUBRICACIÓN HIDROSTÁTICA

Este tipo de lubricación se la efectúa, introduciendo el lubricante a alta presión y se la utiliza para separar las superficies en que por aspecto de diseño del cojinete el movimiento de una de las superficies con respecto a la otra tiene velocidad muy pequeña, casi nula y la capa del lubricante que en ciertos casos puede ser aire o agua es relativamente gruesa.

LUBRICACIÓN ELASTOHIDRODINÁMICA

Este fenómeno ocurre cuando se introduce lubricante entre superficies que están en contacto rodante, tal como los cojinetes de rodamiento y los engrasantes.

LUBRICACIÓN DE PELÍCULA MÍNIMA O AL LÍMITE

Este fenómeno ocurre cuando la viscosidad del lubricante disminuye

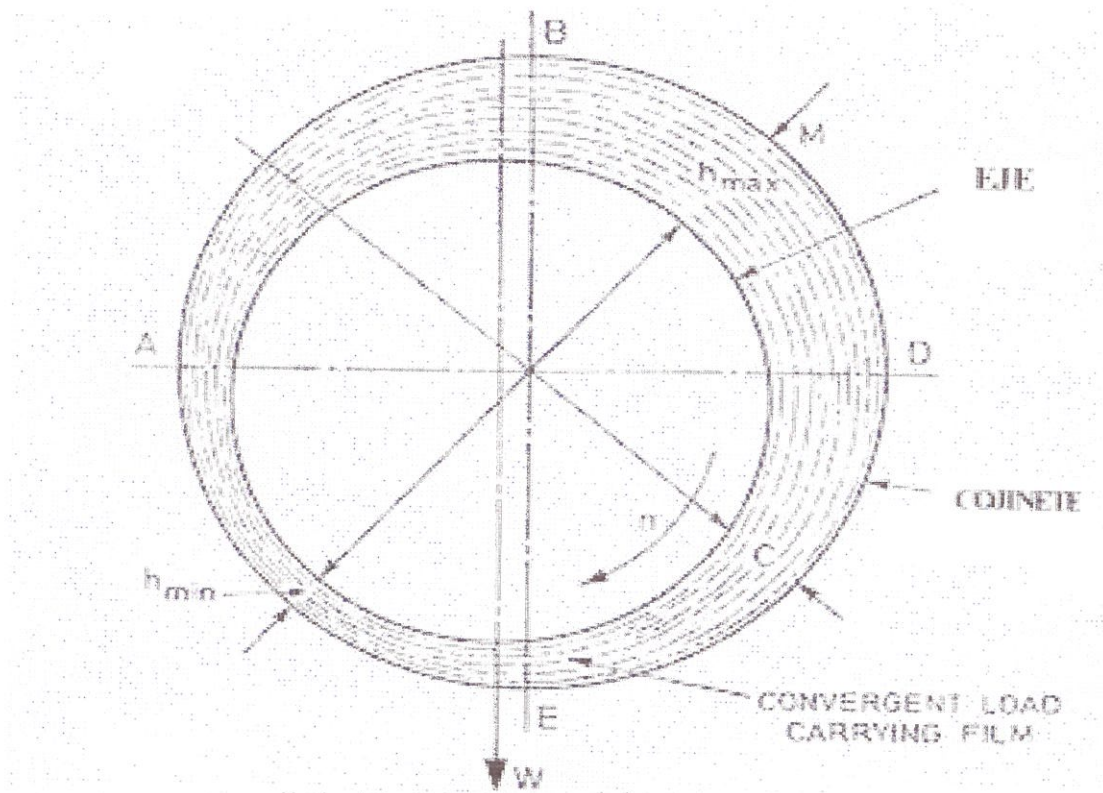


Figura N° 6

La figura ilustra el principio de operación de la lubricación Hidrodinámica

debido a un incremento de temperatura o cuando la carga o soporte aumenta, o cuando se reduce la cantidad de lubricante suministrado; cualquiera de estas condiciones pueden impedir la formación de un película de lubricante suficientemente gruesa para que la lubricación sea fluida de película completa. Cuando esto ocurre las asperezas de más altura quedan separados por películas de lubricante de unos cuantos diámetros molecular de espesor siendo la película mínima o al límite.

LUBRICANTE DE PELÍCULA SÓLIDA

Se la utiliza cuando los cojinetes tienen que trabajar a temperaturas extremas, entonces se utiliza un lubricante sólido tal como el grafito o el disulfuro de molibdeno, ya que los aceites ordinarios de origen mineral no dan resultados satisfactorios.

FALLAS TÍPICAS EN COJINETES

El mecanismo más común para una falla prematura del cojinete es el desprendimiento de material. Hay un número limitado de modos o mecanismos por el cual pequeñas cantidades de material pueden desprenderse de un cojinete; estas son fracturas dúctiles, producidos por

fatiga en ciclos altos en cambio los casos de fatiga en los ciclos bajos se presentan las fraturas plásticas; cuando la lubricación es deficiente, a menudo se presentan desprendimientos por fusión de metal.

FATIGA

Un cojinete en una máquina que esta sujeto a muchos ciclos de cargas variables o puede haber una carga desbalanceada o fluctuación de la presión las Fallas de fatiga también pueden presentarse tempranamente por combinación con altos esfuerzos y por corrosión ambiental, el rompimiento por fatiga ocurre progresivamente, empezando por las fisuras en la superficie, luego se rompe y se desprende la capa de deslizamiento del material de respaldo, como muestra la Fig. N°7.

EROSIÓN ELECTRICA

Algunos cojinetes particularmente instalados en turbinas a vapor pueden tener un potencial eléctrico dirigido a través de él, que generalmente pasa inadvertido – Cuando el claro entre el cojinete y el eje es pequeño y el potencial aplicado es suficiente alto chispas pueden pasar a través de la película de lubricante y causar erosión, la superficie del cojinete puede no

ser reflectiva y puede aparecer quemada. La Fig. N°8 muestra este tipo de falla.

CORROSION

La falla por corrosión en el cojinete puede ser originada por la presencia de agua en el cojinete, ya sea a través de un lubricante contaminado o por la entrada directa del agua. A través del sello, o por la presencia de otros líquidos como alcoholes, aldeidos que deterioran el lubricante y provoca la oxidación, generalmente esto ocurre cuando el cojinete ha estado parado sin trabajar durante un determinado período y no se han tomado las respectivas precauciones. Esta corrosión produce pequeña picaduras en la superficie del cojinete.

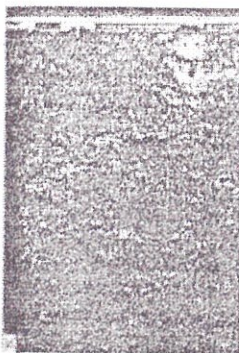


Figura N° 7

La fotografía muestra la falla por fatiga en la superficie del cojinete

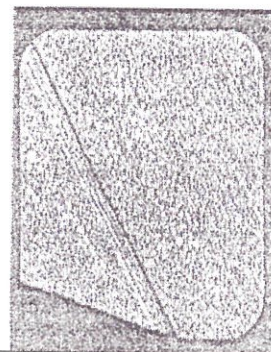


Figura N° 8

La fotografía muestra la falla por erosión eléctrica en la superficie del cojinete.

CAPÍTULO II

MEMORIA DE LA REPARACIÓN

2.1. RESEÑA DE APLICACIÓN ESPECIFICA

En Septiembre de 1998 se recibieron en las oficinas de INTRAMET cojinetes de deslizamiento pertenecientes al B.A.E. Rafael Morán Valverde los mismos que son piezas de las turbinas del sistema de propulsión, cuyas características son las siguientes:

- MARCA: J.S. WHITE English Electric Design
- TIPO: MARK Y 136 de 8 Etapas.
- POTENCIA: 15000 HP
Velocidad de operación
- VELOCIDAD MAXIMA: 5750 r.p.m.
- VELOCIDAD CRITICA: 7320 r.p.m.

En mayo de 1.998 los dos cojinetes de descanso del eje del rotor de la turbina de babor fueron desmontados por personal de ASTINAVE por estar sus claros fuera de tolerancia permisible, y le hicieron el remetalado

acostumbrado con material antifricción para turbinas alta velocidad, luego se montaron en su sitio, ya en el viaje de prueba los operadores de las turbinas detectaron calentamiento fuera de lo normal en estos cojinetes, razón por la cual se los desmonto para inspeccionarlos, encontrándoselos que presentaban rayaduras tal como se observa en la fotografía N°2 luego de esta experiencia, la jefatura del departamento de ingeniería naval de la Armada del Ecuador decidió contratar los servicios de INTRAMET para que se haga un estudio del material original de los cojinetes, enviando para esto otros cojinetes de repuesto pero con desgaste los cuales contenían el material original.

2.2. ANALISIS DEL MATERIAL

Se procedió a hacer análisis de falla del material para lo cual fue necesario trasladarnos a bordo del B.A.E. Rafael Morán Valverde

para obtener información; de esto fue posible inspeccionar la turbina, ver el sitio donde trabajan los cojinetes, fotografía N° 1.

Estos cojinetes son del tipo bimetálico, formados por un respaldo de bronce y una copa superficial de deslizamiento de material antifricción. Con estos antecedentes en INTRAMET se tomo la



decisión de hacer un análisis de falla para lo cual es necesario realizar los siguientes trabajos: examen visual, químico y metalográfico. Se procedió a hacer la inspección visual del cojinete, apreciándose una zona con muchas rayaduras en la parte inferior, lo cual lo muestra la fotografía N°2. También con un lente de 6x se detectó una zona con pequeñas picaduras, lo cual es producto de la corrosión y una zona de fisuras. En resumen el examen visual revela lo siguiente:

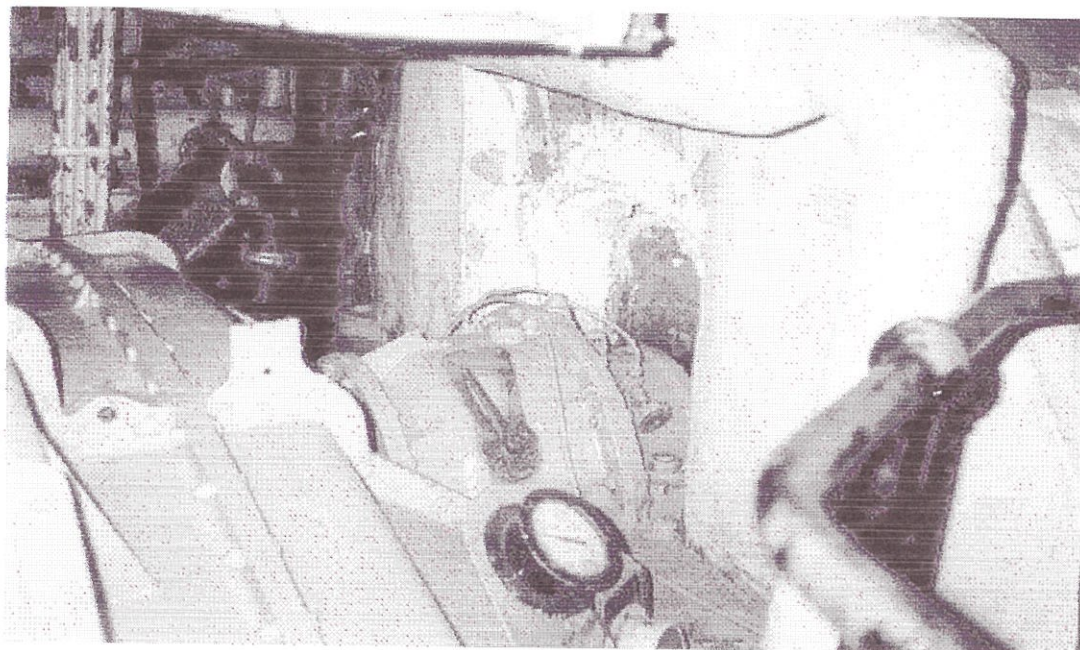
- Zona de rayadura o de sobrecalentamiento
- Zona de picaduras tipo piting o corrosión localizada.
- Zona de fisuras debido a la fatiga del material. A fin de realizar un análisis completo de la falla se decidió verificar condiciones de trabajo de los cojinetes para lo cual fue necesario tomar muestras del lubricante tanto como el que circulará en el sistema, así como del tanque de reserva con la finalidad de establecer el grado de contaminación del lubricante.

Análisis del Lubricante

El lubricante usado en la turbina es el turbo-oil 78. Para este análisis se solicitó los servicios de los laboratorios de la compañía MOBIL dando el siguiente resultado. El análisis del lubricante revela presencia de agua.

entonces la secuencia de la falla proviene por el inicio de corrosión, luego desprendimiento del material antifricción, lo cual genera rayaduras por aumento de la fricción y por último se genera la falla por fatiga del material. Estos resultados nos indican que la causa de la falla fue la contaminación del sistema con agua y con partículas de sólidos. Posteriormente se procedió a realizar análisis químicos vía absorción atómica de la aleación original para determinar el tipo de material del que está hecha la capa que constituye la superficie de deslizamiento, encontrándose que es una aleación especial cuyo resultado es el siguiente:

ELEMENTO	PORCENTAJE %
ESTAÑO	84
ANTIMONIO	9.59
COBRE	3.50
PLOMO	0.21
HIERRO	0.25
ZINC	0.01



Fotografía N°1

Acoplamiento turbina – caja de reducción.

(sitio de alojamiento de cojinete)

fase compuesta por dendritas de una solución sólida rica en estaño y agujas de un compuesto Sn – Cu y otra fase de partículas negras de grafito.

Los resultados de la metalografía, demuestran que se trata de un material compuesto (Matriz metálica de estaño y grafito). Este grafito ayuda a disminuir el coeficiente de fricción de la aleación en base estaño, cuya especificación se asemeja a la aleación Babbitt 2, ASTM B23, SAE 12.

El método de fabricación de este tipo de aleación es de reciente investigación del Instituto Tecnológico de Massachusetts materiales compuestos de matriz metálica y una fase dispersa que mejora las características de la matriz metálica. En la ESPOL ya se han realizado experiencias sobre la elaboración de aleaciones de aluminio con grafito, hecha por la incorporación de el grafito en polvo al aluminio en estado líquido, a través de una fuerte agitación.

2.3. ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO Y CONTROL DE CALIDAD

Se propone la secuencia de operaciones descritas a continuación:

El material tiene que responder a una composición química a una microestructura y a las propiedades físicas que respondan a las condiciones de diseño mecánico; a fin de cumplir con estas condiciones realizamos pruebas de colado con diferentes porcentajes de antimonio de manera que se obtengan las características de la microestructura, de la aleación original, además seguiremos un esquema de experimentación expresado en la figura N° 9. Construcción de un dispositivo electromecánico para agitación durante la fusión y colado del material; selección de materia prima, fusión de material, obtención de lingotes y control de calidad.

CONSTRUCCIÓN DE DISPOSITIVO PARA AGITACIÓN

Este consiste en lo siguiente:

- Un motor eléctrico de:

120 volt. A.C.

1 HP

3.700 RPM



- Un eje de acero inoxidable

Diámetro 16mm.

Longitud 700mm.

- Rosca en ambos extremos:

1 de 5/8" NC

1 de 3/8" NC

- Un acople de acero inoxidable

Diámetro exterior 30mm.

Longitud 60mm.

Rosca interior de 5/8" en ambos extremos

- Un disco de acero inoxidable

Espesor 3mm.

Diámetro 64mm.

Agujero central roscado 3/8.

2 Ranuras rectangulares de 5mm. x 15mm.

Fig. N°. 9

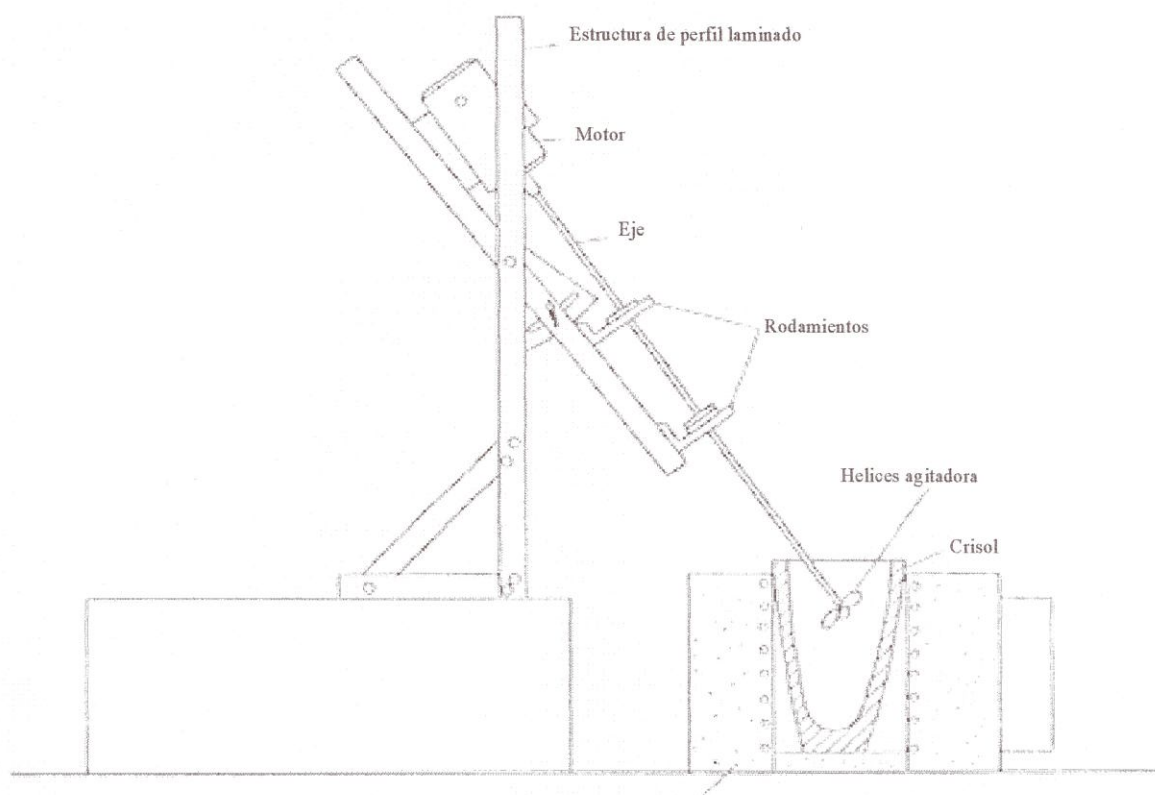


Figura N° 9

Dibujo esquemático de agitador de la mezcla grafito
con la aleación Babbitt

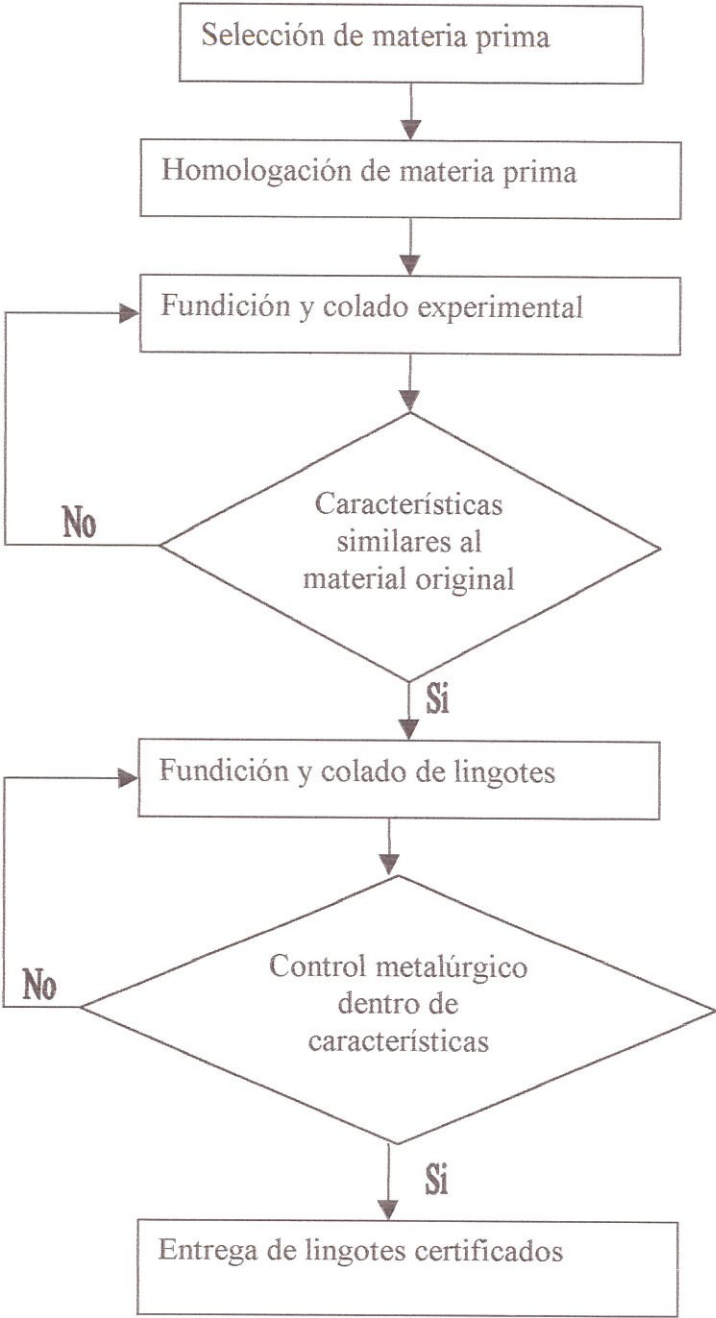


Figura N° 10

Diagrama de flujo del proceso de fundición
de material compuesto con matriz metálica

Seleccionamos el material antifricción conocido en el comercio como magnolia o aleación SUPER TANDEN por ser de composición química, aproximada a la final ya que no tenemos en el mercado todos los elementos en condición de fuerza requerida y realizar la aleación a partir de materiales puros. A más de la magnolia se requieren materiales adicionales y que usaremos para preparar el material compuesto y que se suman a la aleación Babbitt son el antimonio puro 99.99% y grafito que sirven para ajustar la composición química a la encontrada en el material original y también con relación a la microestructura de material compuesto, respectivamente.

En condiciones de experimentación de taller, haremos tres pruebas a partir de 5Kg. de TANDEN cuyo contenido de antimonio es 4.5%; las pruebas serán variando el contenido de antimonio en el 7%, 8%, 9% y 0.30% de grafito.

PRUEBA N° 1

Calculo del peso del antimonio correspondiente al 2.5% para completar el 7% de 5.000 gr. de TANDEN esto es 125 gr. Calculo del peso del grafito correspondiente al 0.30% esto es 15 gr.

Pesamos 4.860 gr. de TANDEN para tener 5.000 gr. de material compuesto. En la balanza electronica pesamos 125 gr. de antimonio y 15 gr. de grafito en polvo. En un crisol de grafito/carburo de silicio hierro fundido con capacidad para 10 Kg. colocamos los 4.860 gr. de Babbitt y los 125 gr. de antimonio. Prendemos el horno y regulamos la llama, colocamos el crisol en el horno, controlando la fusión con un termometro, cuando el material este completamente fundido y la temperatura llegue a 350°C introducimos en el crisol el agitador, lo prendemos y en forma lenta adicionamos el grafito en polvo y continuamos con la agitación para que el grafito se distribuya formando una mezcla uniforme y homogenea y de esta manera obtener nuestro material compuesto con matriz metálica. Cuando la temperatura llegue a 400°C es decir a la temperatura de colado, sacamos el crisol y colamos en un molde metálico previamente calentado, dejamos enfriar y sacamos el lingote de muestra.

CONTROL DE CALIDAD

Para esto con un taladro sacamos pequeñas virutas del material y con una sierra cortamos una probeta. La viruta la utilizamos para el análisis químico y la probeta para realizar análisis metalográfico. El análisis químico dio el siguiente resultado:

Sn	85.72%
Sb	6.95%
Pb	1.05%
Cu	4.23%
Fe	0.35%
C	0.23%

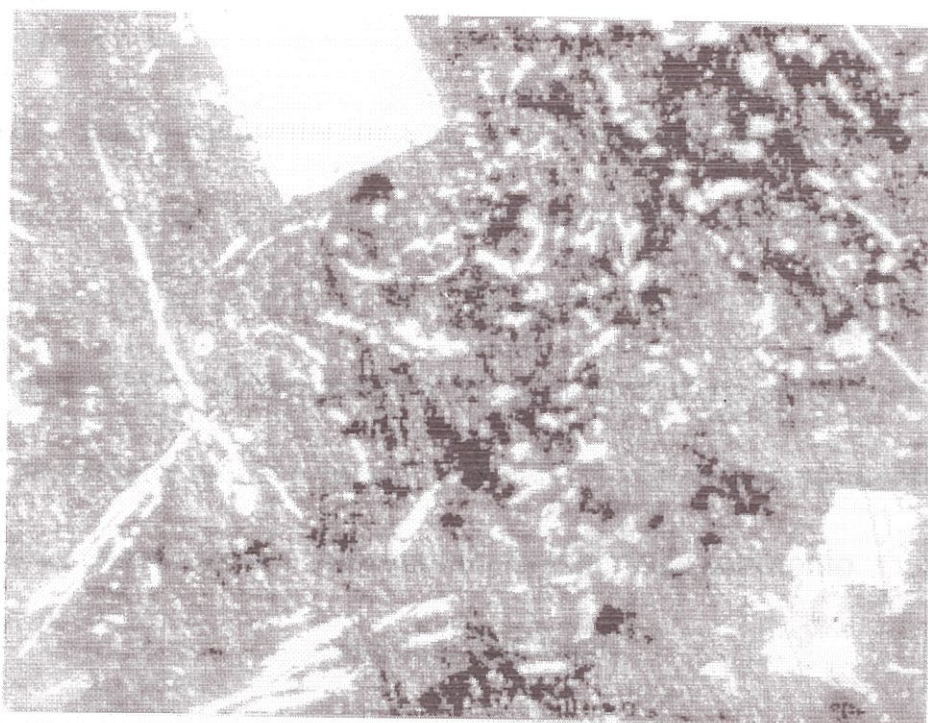
En el análisis metalográfico por observación visual bajo retícula cuadriculada a 1 mm. y con un lente de 100x se observa una concentración de cuboides de compuestos SnCu que, lo cual difiere de lo observado en el material orginal. Fotografía N°3.

PRUEBA N° 2

Calculo del peso del antimonio correspondiente al 3.5% para completar 8% esto es 175 gr. Como el porcentaje del grafito no varia tenemos entonces 15 gr. Pesamos 4.810 gr. de Babbitt para tener 5.000 gr. de material compuesto. En la balanza electrónica de rango 0.01 gr. o 1.000 gr. pesamos 175 de antimonio y 15 gr. de grafito en polvo. Utilizando la misma técnica de la prueba N° 1 obtenemos el material con una nueva composición en relación al porcentaje de antimonio y procedemos a efectuar el control de calidad. Con el mismo procedimiento de la prueba N° 1, hacemos los análisis químicos y metalográficos.

Análisis Químico

Sn	85.04%
Sb	7.63%
Pb	0.50%
Cu	4.02%
Fe	0.35%
C	0.20%



Fotografía N° 3

Tomada a 100x

En la fotografía se observa una concentración de cuboides de compuestos

SnCu

ANALISIS METALOGRAFICO

Con la misma técnica de observación visual aplicadas en las pruebas N° 1 y N° 2 y con un lente de 8x observamos que aparece una fase metálica formada por cuboides primarios y agujas, otra de partículas negras de grafito. Esta microestructura se asemeja bastante a la original, lo cual significa que cuando el porcentaje de antimonio es mayor al 8% aparecen en aumento el % de cuboides hasta llegar a la conducción de 8 cuboides por mm^2 que determina las mejores propiedades con relación al desgaste por fricción.

FUNDICIÓN Y COLADO DE LINGOTES

Pesamos los componentes para obtener 21 Kg. de material compuesto. Calculo del peso del antimonio correspondiente al 4.5% de 21 Kg. para obtener 9% en la aleación, esto es 945 gr. Calculamos 63 gr. de grafito correspondiente al 0.30% . Pesamos 20.5 Kg. de Super TANDEN. En la balanza electrónica pesamos los demás componentes y con la misma técnica utilizada en las pruebas, procedemos a fundir, teniendo en consideración utilizar un crisol con capacidad para 30 Kg. Obteniendo 5 lingotes de 4 Kg. cada uno. Fotografía N° 4 y N° 5.

CONTROL DE CALIDAD

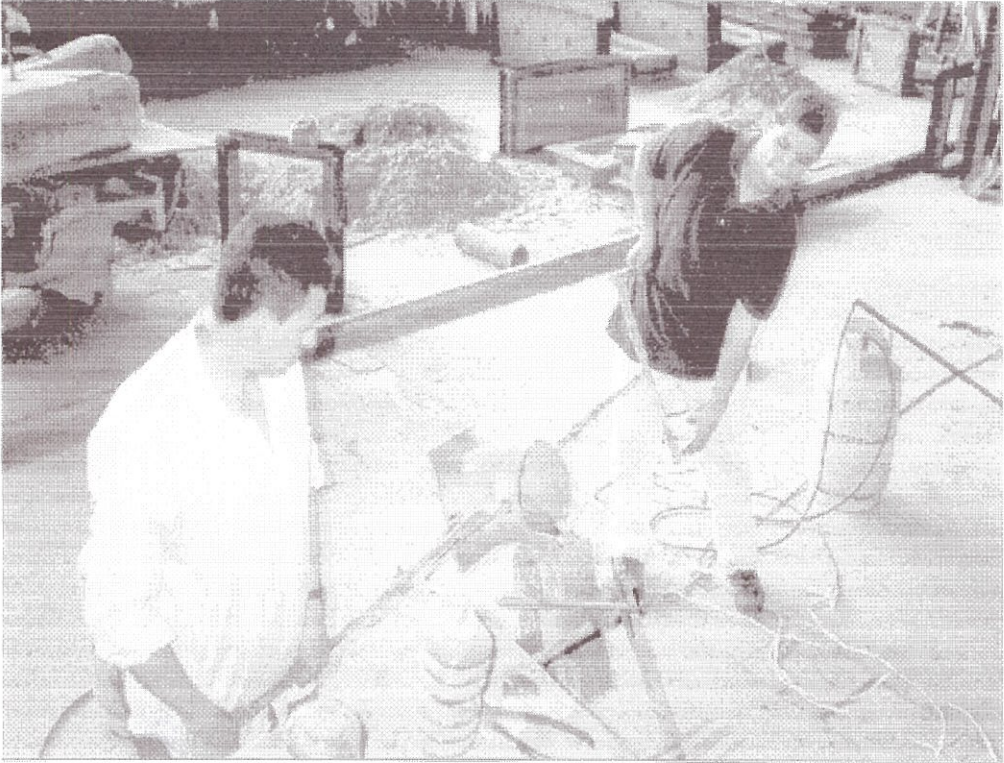
Con un taladro sacamos viruta de uno de los lingotes y también cortamos una probeta de otro para efectuar los análisis químicos y metalográficos.

Análisis Químico

Sn	85.43%
Sb	8.87%
Pb	0.32%
Cu	4.20%
Fe	0.25%
C	0.18%

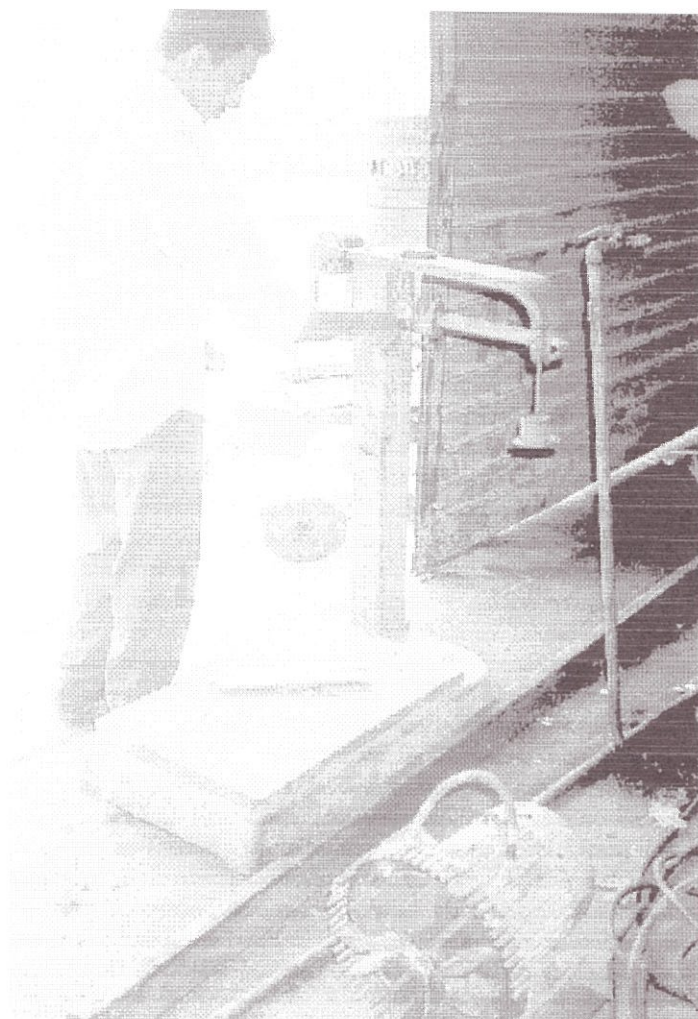
ANALISIS METALOGRAFICO

Siguiendo la misma técnica para este análisis utilizada en las tres pruebas observamos en la probeta una microestructura similar a la del material original, con la ventaja de que la microestructura obtenida tiene el grano más fino, de tal manera que los cuboides son más pequeños y en mayor concentración, tal como lo muestra la fotografía N° 6.



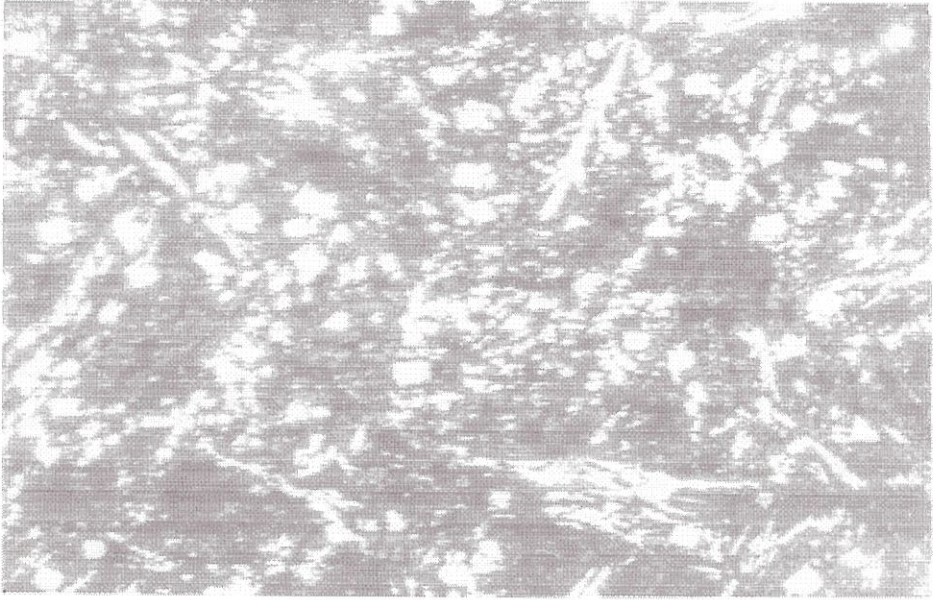
Fotografía N° 4

La fotografía muestra el instante en que se están colando los lingotes de material compuesto



Fotografía N° 5

La fotografía muestra el control del peso de los lingotes



Fotografía N° 6

Tomada a 100x

La fotografía muestra una microestructura de grano más fino y cuboides

SnCu pequeños y en mayor concentración que la fotografía N° 3

*Evaluación de Resultados
de las Pruebas de las
Muestras ?*

2.4. REPARACIÓN DE LOS COJINETES DEL B.A.E. RAFAEL MORÁN VALVERDE.

Para el efecto estableceremos la secuencia que se muestra en el siguiente diagrama de flujo. Figura N° 11.

INFORMACIÓN DE FORMA

Se revisó el manual de mantenimiento de la turbina en la sección referente a los cojinetes para establecer medidas y claros, además de común acuerdo con ASTINAVE, el comando de DINNAV y del buque se procedió a destapar los descansos y cojinetes de la turbina para inspeccionar las condiciones del eje y tomar medidas.

De esta inspección, se encontró que el eje ha sido pulido, tal como anteriormente se nos había informado. Con las medidas y claros sacadas de la bitácora de mantenimiento de la turbina, Figura N° 12 y Tabla N° 5, y las medidas tomadas en el sitio en 1.998 Figura N° 13 y Tabla N° 6, se procede a hacer el plano y las partes del molde.

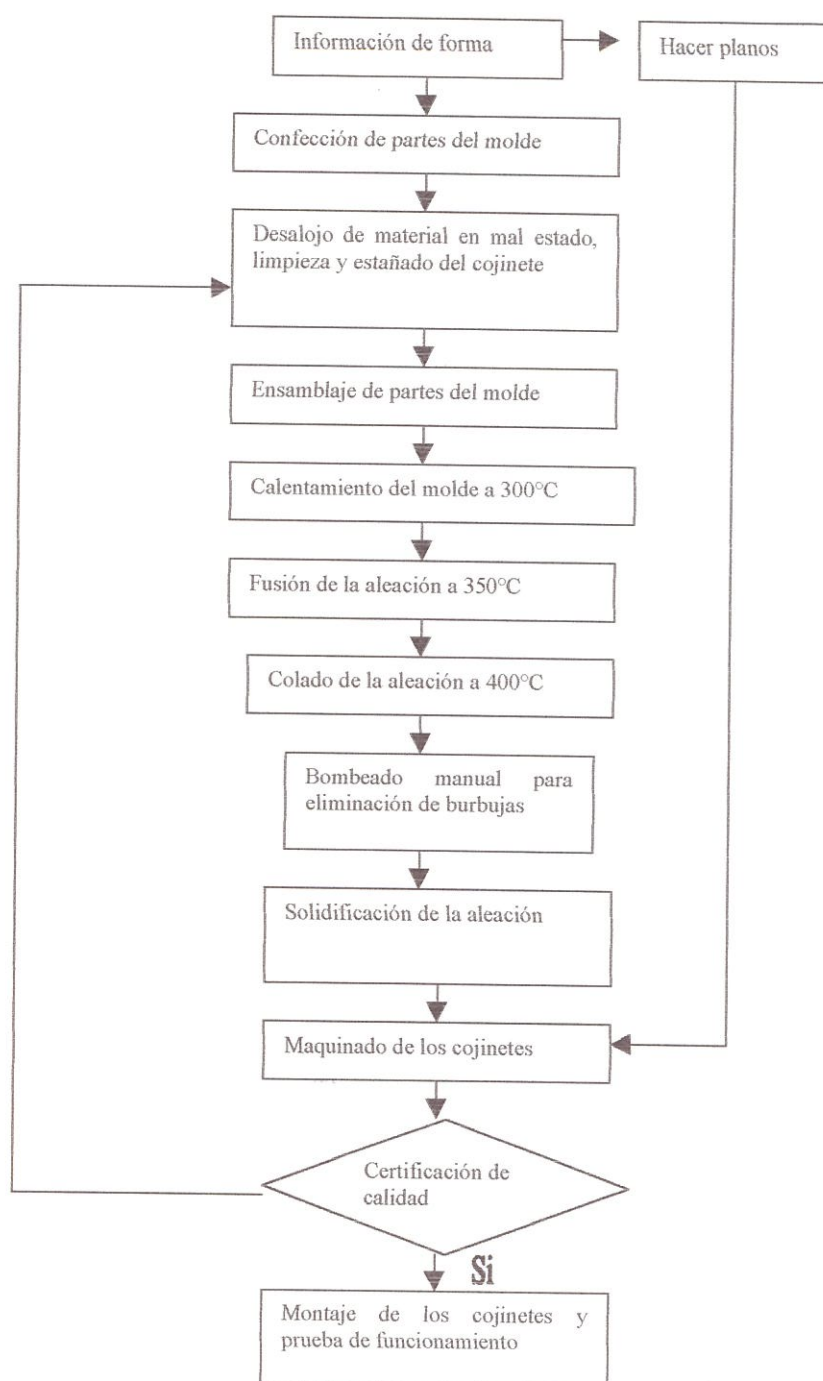


Figura N° 11

Diagrama de flujo para la reparación de los cojinetes

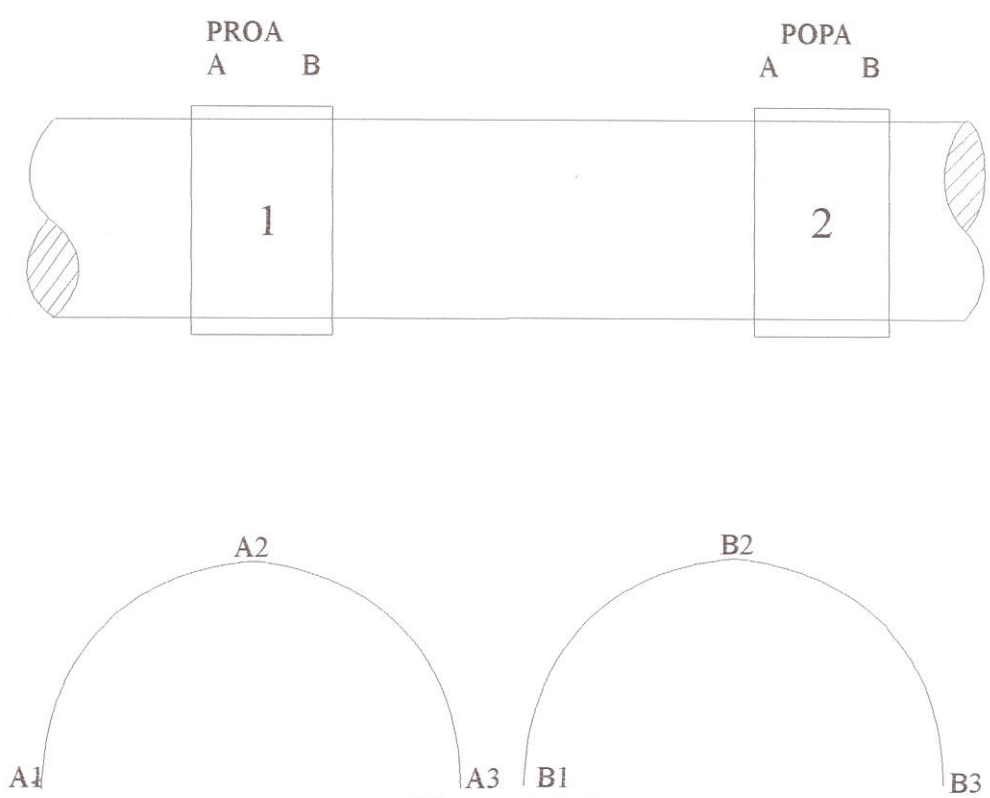


TABLA N° 5

CLAROS RADIALES Y MEDIDAS DEL EJE

	1	2		1	2
A1	0.005	0.006	B1	0.0055	0.0085
A2	0.012	0.013	B2	0.0125	0.013
A3	0.008	0.065	B3	0.075	0.006
DIAMETRO DEL EJE	HORIZONTAL			5.9952"	
	VERTICAL			5.995"	

TOMADA DE LA BITACORA DE MANTENIMIENTO DE 1.981 DEL
B.A.E. RAFAEL MORÁN VALVERDE

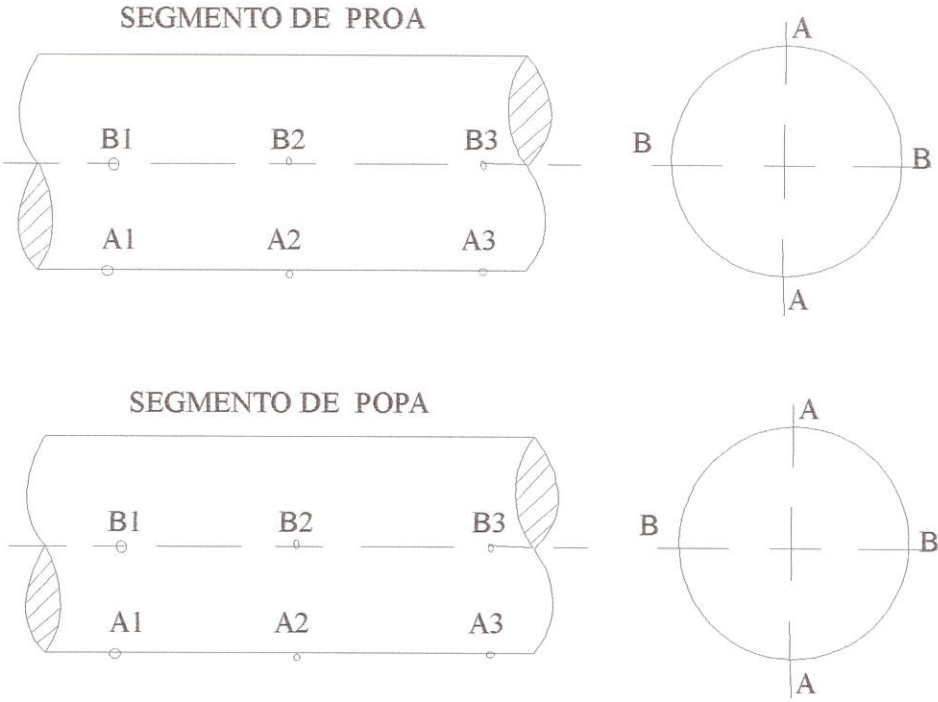


Figura N° 13

TABLA N° 6

MEDIDAS DEL EJE DE LA ALTURA

	Segmento de Proa (PLGS)	Segmento de Popa (PLGS)
A1	5.958	5.9605
A2	5.959	5.960
A3	5.958	5.960
B1	5.9585	5.990
B2	5.958	5.9605
B3	5.9585	5.960

TOMADAS A BORDO DEL B.A.E. RAFAEL MORÁN VALVERDE

EN 1.998

La reparación de los cojinetes se las hará en los talleres de ASTINAVE por disposición del Comando de DINNAV (División de Ingeniería Naval).

CONFECCIÓN DE PARTES DEL MOLDE

El molde consiste de dos partes, una de ellas es el conjinete propiamente dicho en cuya superficie interior se adhiere la capa de material antifricción y la otra parte es la mitad de un cilindro de diámetro exterior 5.500" colocado parado con una base plana construida en plancha de acero de 5/16 la fotografía N° 7 ilustra lo indicado. El diámetro de 5.500" es la medida a la cual quedará el diámetro interior del cojinete, una vez fundido el material antifricción se ha dejado aproximadamente $\frac{1}{4}$ " de espesor, que constituye una técnica de trabajo en Astinave.

PREPARACION SUPERFICIAL

Se procedió a desalojar el material antifricción en mal estado, mediante la aplicación directa de llama con antorcha de gas. Una vez desprendido todo este material se procedió a limpiar la superficie con cepillo de acero y con una solución de ácido muriático con zinc; luego se aplicó una fina



Fotografía N° 7

La fotografía muestra las partes que constituyen el molde para la fundición de las chapas

película de estaño 99.9% puro. Una vez terminado el proceso de estañado se hizo el ensamblaje de las partes del molde y se rellenó las juntas y agujeros de guías con asbesto para luego proceder a la fusión.

FUSION Y COLADO DE LA ALEACION

Una vez que el crisol quedó completamente limpio se colocó en el los lingotes del material compuesto y se los llevó al horno. Con un termómetro digital de aproximación se controló la temperatura de fusión 350°C y la de colado 400°C.

Cuando la temperatura llegó a los 300°C se empezó a calentar el molde, fotografía N° 8, con el propósito de que la colada se distribuya uniformemente dentro del molde el cual se lo mantuvo a 300°C. Una vez que la aleación alcanzó la temperatura de 400°C se procedió a verter la colada en el molde. La fotografía N° 9 nos ilustra esta parte del proceso y mientras se vaciaba la colada a esta se la bombeaba dentro del molde con una pequeña y delgada varilla, para evitar la formación de burbujas y lo cual es perjudicial para la confección de piezas, ya que estas dan origen a la formación de porosidades por su interior en el momento de la solidificación, la fotografía N° 10 ilustra este procedimiento.



Fotografía N° 8

La fotografía muestra el momento de precalentamiento del molde



Fotografía N° 9

La fotografía muestra el instante en que se están colando las chapas de
los cojinetes

SOLIDIFICACIÓN DE LA PIEZA

Cuando se ha terminado de llenar el molde con la colada, se lo retira y se lo deja enfriar a temperatura ambiente para su solidificación, lo cual toma aproximadamente 60 minutos, una vez transcurrido este tiempo se retira el molde, quedando adherida fuertemente al cojinete la capa de material antifricción de aproximadamente $\frac{1}{4}$ " de espesor, tal como se lo explicó anteriormente. La fotografía N° 11 ilustra lo expuesto.

MAQUINADO DE LOS COJINETES

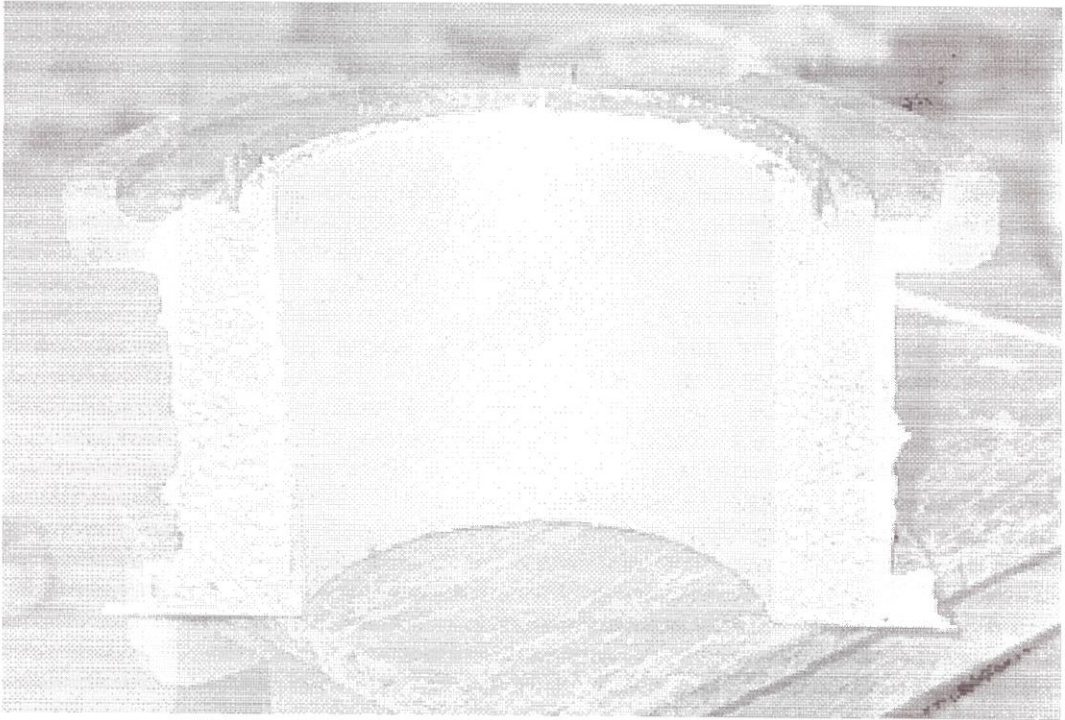
Para el maquinado de la pieza se procedió a dar instrucciones al mecánico operador de la máquina herramienta torno de acuerdo a las especificaciones del plano. Una vez instruido el mecánico procedió de la siguiente manera.

Montaje y centrado de la pieza en el mandril del torno. La fotografía N° 12 ilustra lo indicado. Desvastado de la capa de material antifricción hasta tener el diámetro cercano a la medida indicada en el plano. Dar medida con avance de pulido para dejar el diámetro y las tolerancias indicadas. Terminada de maquinar se verificaron las medidas, quedando los cojinetes en el diámetro expuesto en la tabla N° 7.



Fotografía N° 10

Ilustra el proceso de bombeo de la colada dentro del molde



Fotografía N° 11

La fotografía muestra el cojinete con la chapa de material antifricción ya solidificado.

Posteriormente se hizo inspección visual de la superficie maquinada con un lente de 8x verificándose que no existen porosidades, ni fisuras y además el acabado superficial pulido, verificado esto se entregaron los cojinetes al comando del buque para el montaje.

2.5. MONTAJE Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se procedió al montaje de los cojinetes por parte del personal del departamento de ingeniería del buque. Quedando con las siguientes medidas y claros, tabla N° 8. Terminado el montaje se procedió con las pruebas de funcionamiento tomando las temperaturas cada hora con termómetro durante 9 horas, tabla N° 8.

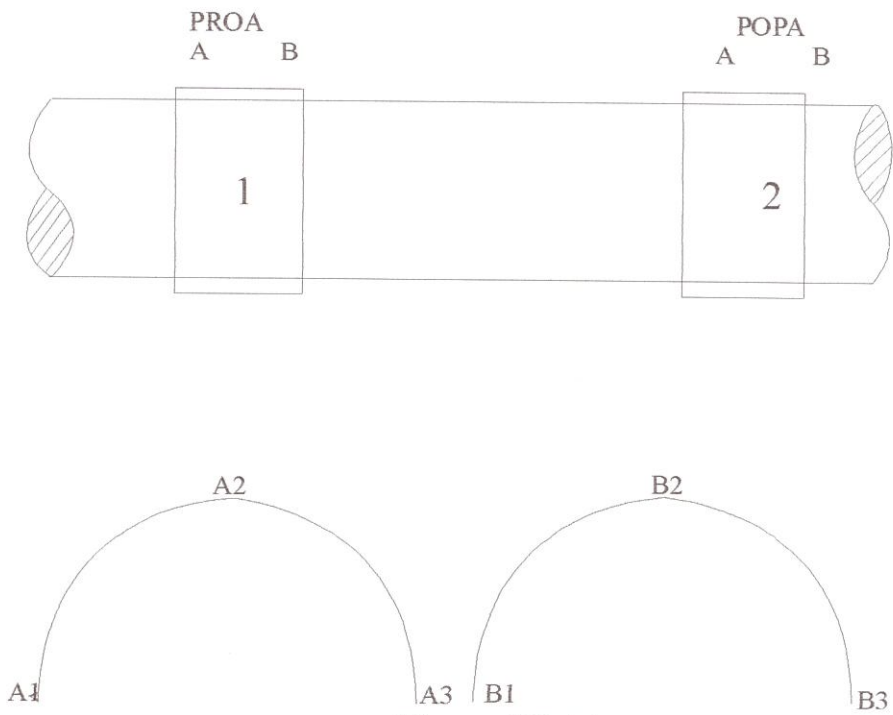


Figura N° 14

TABLA N° 7

MEDIDAS Y CLAROS DEL EJE Y LOS COJINETES

	1	2		1	2
A1	0.0082	0.008	B1	0.008	0.008
A2	0.0095	0.009	B2	0.009	0.009
A3	0.0083	0.008	B3	0.008	0.008
DIAMETRO DEL EJE	SEGMENTO DE PROA		5.959"		
	SEGMENTO DE POPA		5.9605"		
DIAMETRO DE LOS COJINETES	DE PROA		5.967"		
	DE POPA		5.969"		

TOMADAS EN 1.998 A BORDO DEL B.A.E. RAFAEL MORAN V.

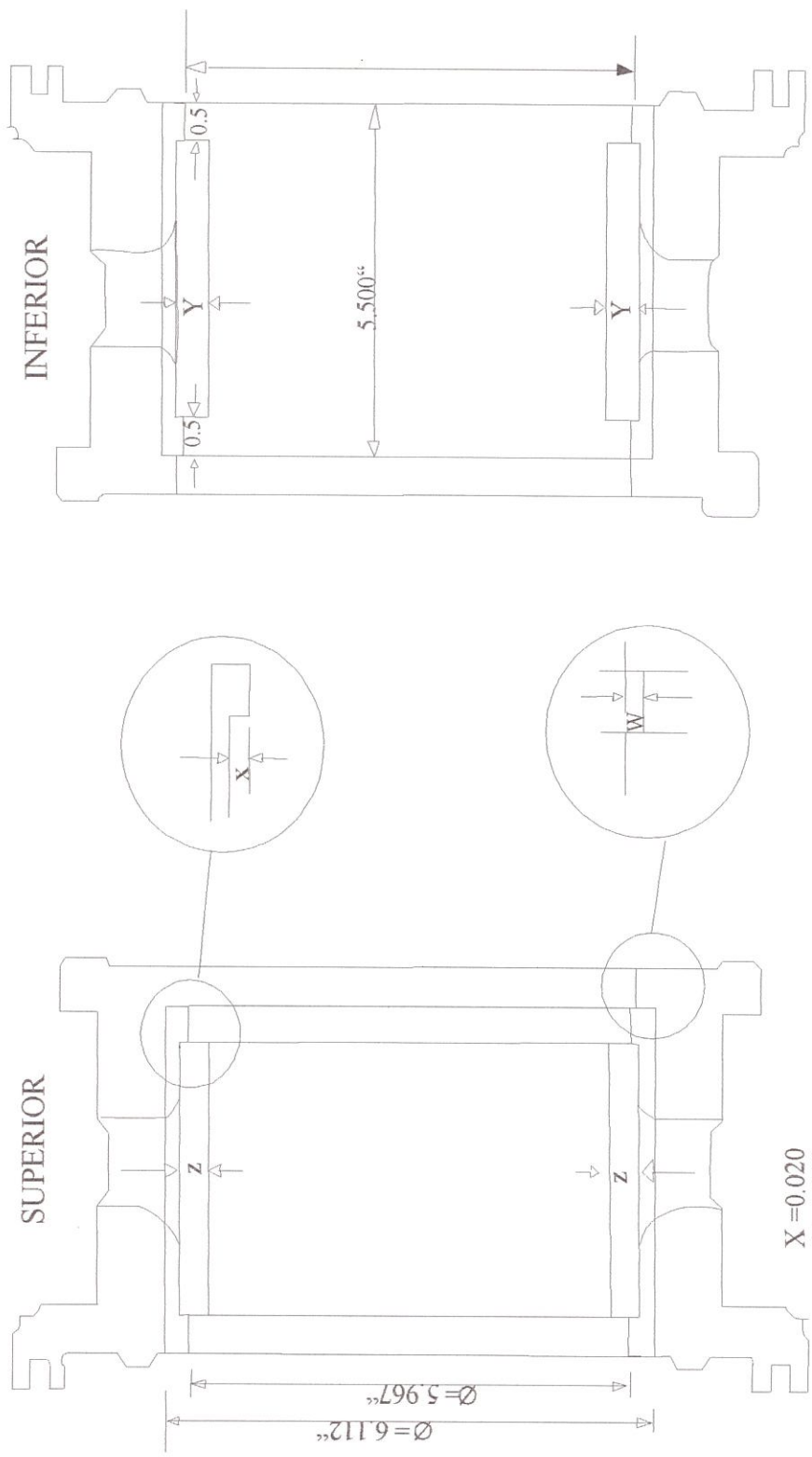
TABLA N° 8

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DE LOS COJINETES EN LA TURBINA.

TEMPERATURAS EN LOS COJINETES			
HORAS	PROA °F	POPA °F	RPM
1	120	120	2500
2	120	120	2500
3	120	115	2500
4	110	110	3500
5	110	110	3500
6	110	115	4000
7	115	115	4000
8	115	115	4500
9	115	115	4500

TOMADOS A BORDO DEL B.A.E. RAFAEL MORAN

VALVERDE



BUQUE: RAFAEL MORAN VALVERDE	NOMBRE DE LA PIEZA: COJINETE DEL EJE DEL MOTOR
MAQUINA: TURBINA PROPULSORA	MATERIAL: BRONCE - BABBITT

Figura N° 15



III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Hemos investigado como la combinación de dos o más materiales, uno de los cuales es metal separadamente tienen limitaciones en sus propiedades, pero al combinarse mejoran notablemente las propiedades del material compuesto metal matrix composites (MMC).
2. La adición de grafito a la aleación Babbitt mejora las condiciones de trabajo en lo referente a la lubricación tal como lo demuestra la tabla #8; de las pruebas de funcionamiento ya que el grafito en el material compuesto actúa como lubricante sólido.
3. El aumento del contenido de antimonio tal como lo hicimos en las tres pruebas hasta un 9% mejora la microestructura, lo cual hace a la aleación más resistente al desgaste para el caso de la aplicación en los cojinetes para la turbina de alta velocidad.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda en el remetalado de cojinetes para aplicaciones mayores a 1700RPM utilizar el MMC partiendo de la aleación Babbitt ASTM B23 N°1 adicionando antimonio hasta completar 9% y grafito esferoidal en polvo en un 0.30%.
2. Se recomienda el uso de la metodología utilizada que asegura la calidad de los materiales antifricción y por ende la reparación propuesta.

BIBLIOGRAFÍA



1. Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 2, Ref. (1) (2) (3) (4)
2. Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 3.
3. Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 9.
4. Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 11.
5. Metal Handbook, Novena Edición, Volumen 15.
6. Bitácora Año 1.981 del departamento de Máquinas del B.A.E. Rafael Morán Valverde.
7. A. Soto and Mahrabian, aluminium Matrix Composite – Fabrication and properties Metall. Trans., B. Volumen 7B, 1.976, pág. 443.
8. R. Asthana S. Dos, T.K. Dan and P.K. Rohatgi solidification of aluminium – silica Alloy in the presence of grafite particles J. Moter! SCI. Lett. Vol. 5, 1.985, pág. 1.083.
9. A. Mortensen, M.N. Gungor V.A. cornie and M.C. Flemings, Alloy microstructure in cast Metal – Matrix composites J. Met March, 1.986, pág. 30