



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica



**"REPARACION DE UN EJE DE COLA
CON HELICE DE PASO VARIABLE
DE UNA MOTONAVE DE 1050
TONELADAS DE PESO MUERTO"**

INFORME TECNICO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentado por:

WALTER HUMBERTO SILVA FLORES



GUAYAQUIL

ECUADOR

AÑO

1994

AGRADECIMIENTO

Al Ing. ERNESTO MARTINEZ G.
Director de éste Informe
Técnico, por su ayuda,
colaboración y abnegada
preocupación para que éste
trabajo concluya.

A mis compañeros y amigos
que con su apoyo moral
hicieron posible el
cumplimiento de esta obra.

DEDICATORIA

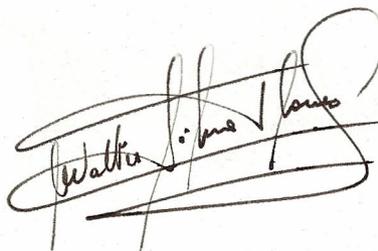
A MIS PADRES
A MIS HERMANOS
A MI ESPOSA Y
A MIS HIJOS

DECLARACION EXPRESA

Declaro que:

" Este informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica ".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Walter Humberto Silva Flores', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

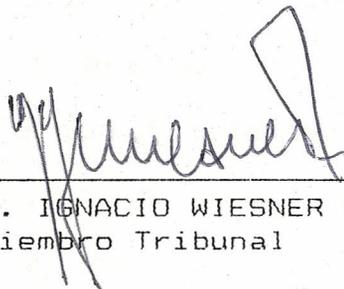
WALTER HUMBERTO SILVA FLORES



DR. ALFREDO BARRIGA
Decano



ING. ERNESTO MARTINEZ
Director de Informe



ING. IGNACIO WIESNER F.
Miembro Tribunal

RESUMEN

En el mes de Mayo de 1990, la motonave "JERUSALEN", que realiza servicio de carga general a las islas Galápagos y que está implementado con una hélice de paso variable, que no es otra cosa que, una hélice con la propiedad de cambiar su paso a voluntad de acuerdo a las necesidades de operación del buque (eje hueco), sufrió la deflexión de su eje de cola (12,7 mm.), lo que se manifestaba en forma de altas vibraciones.

Por lo cual, tuvo que ingresar a uno de los diques flotantes que posee ASTINAVE, el 28 de Mayo de 1990. Luego del varamiento -desmontaje de las partes del sistema de propulsión, el eje fue trasladado a los talleres de ASTINAVE donde me desempeñaba como Jefe de Taller Mecánico (Encargado), y como tal participé directamente en buscar la solución al problema.

A esa fecha el Armador no disponía de un eje nuevo para reemplazar el deflectado; pero poseía un eje fracturado, que había recibido al comprar el buque, bocines y sellos nuevos.

Entonces, las alternativas de solución eran las siguientes:

- * Reposición de partes.
- * Reparación del eje deflectado.
- * Reparación del eje fracturado.

Se optó por la tercera alternativa complementada con:

- * Confección de nueva brida de amarre,
- * Reemplazo de bocines, sellos mecánicos.

Es necesario indicar que esta reparación tenía el carácter de solución temporal (4 - 6 meses) y la misma se realizó bajo las siguientes circunstancias imperativas:

- * La no existencia de un eje de cola nuevo.
- * El tiempo que tomaría la importación del mismo.
- * El compromiso de cumplir con fletes previamente contratados.

Cabe destacar que al momento de escribir este informe, es decir, luego de cuarenta meses a partir de la reparación y operación continua de la nave, esta se encuentra

navegando sin novedad.

La reparación y análisis de la falla son el motivo de este informe técnico.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN | VI |
| INDICE GENERAL | IX |
| INDICE DE FIGURAS | XI |
| SIMBOLOGIA | XIII |
| ANTECEDENTES | XV |
| CAPITULO I | |
| I. DEFINICION DEL PROBLEMA | 18 |
| 1.1 Características principales de la motonave. | 18 |
| 1.2 Descripción del sistema de propulsión..... | 21 |
| 1.3 Desmontaje del sistema propulsor y análisis de falla | 43 |
| 1.4 Determinación del problema | 58 |
| CAPITULO II | |
| II.- ALTERNATIVA DE SOLUCION | 60 |
| 2.1 Reposición de partes | 61 |
| 2.2 Reparación de eje deflectado | 62 |
| 2.3 Recuperación de eje fracturado, similar al deflectado por medio de una junta..... | 63 |

2.4 Matriz de decisión 66

CAPITULO III

III.- ALTERNATIVA SELECCIONADA, RECUPERACION DE

EJE FRACTURADO 67

3.1. Diseño del tipo de junta 68

3.2. Cronograma de reparación 74

3.3. Montaje del sistema propulsor 75

3.4. Pruebas 85

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 86

BIBLIOGRAFIA 88

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| 1.- Sistema de propulsión M/N Jerusalén | |
| 2.- Características principales M/N Jerusalén | 20 |
| 3.- Sistema Propulsor | 22 |
| 4.- Vista de hélice y pala del timón | 23 |
| 5.- Aspas de la hélice | 24 |
| 6.- Manzana de la hélice desarmada | 25 |
| 7.- Manzana de la hélice | 26 |
| 8.- Parte interior de la manzana | 27 |
| 9.- Eje de la cola | 29 |
| 10.- Tunel - Bocines | 31 |
| 11.- Dimensiones de bocines | 33 |
| 12.- Sello interior | 35 |
| 13.- Sello exterior | 37 |
| 14.- Brida de amarre original | 38 |
| 15.- Tanque de aceite | 40 |
| 16.- Pistola de grasa | 42 |
| 17.- Desmontaje del barón y pala del timón | 46 |
| 18.- Pala del timón: desmontaje | 47 |
| 19.- Claros de entrada a dique | 48 |
| 20.- Desmontaje del conjunto eje - hélice | 49 |
| 21.- Desarmada de la hélice | 49 |

| | |
|---|----|
| 22.- Eje control de paso | 50 |
| 23.- Bocín del codaste antes de ser desmontado | 51 |
| 24.- Túnel: Vista interior | 52 |
| 25.- Eje de cola deflecciones iniciales | 53 |
| 26.- Eje control de paso deflección inicial | 54 |
| 27.- Bocín del codaste: anterior y nuevo | 55 |
| 28.- Bocín desgastado del prensa | 56 |
| 29.- Sello interior deteriorado | 56 |
| 30.- Sello exterior - interior | 57 |
| 31.- Eje de cola fracturado, extremo cilíndrico | 64 |
| 32.- Eje de cola fracturado, deflecciones | 65 |
| 33.- Eje de cola, junta a tope | 71 |
| 34.- Eje de cola: deflecciones finales | 76 |
| 35.- Eje de control de paso: deflecciones finales ... | 77 |
| 36.- Brida de amarre: anterior | 78 |
| 37.- Brida de amarre: actual | 79 |
| 38.- Claros de salidas del dique | 80 |
| 39.- Conjunto eje-hélice listo para montaje | 81 |
| 40.- Brida de amarre: anterior - actual | 81 |
| 41.- Bocines nuevos del prensa y codaste | 82 |
| 42.- Alineamiento de túnel - máquina | 82 |
| 43.- Bocín del codaste en posición | 83 |
| 44.- Sello interior y sistema de enfriamiento | 83 |
| 45.- Parte móvil del sello exterior | 84 |

SIMBOLOGIA

| | | |
|-------|---|----------------------------------|
| Al | : | Aluminio |
| Br | : | Bronce |
| b | : | Ancho del cordón |
| C | : | Carbono |
| Cu | : | Cobre |
| F | : | Fuerza |
| H.P. | : | Caballos de potencia |
| h | : | Altura de cordón de soldadura |
| J | : | Momento polar de inercia |
| Kg | : | Kilogramo |
| L | : | Longitud del cordón de soldadura |
| Lbs | : | Libras |
| m | : | Metro |
| mm | : | Milímetros |
| Mn | : | Manganeso |
| Ni | : | Niquel |
| p.s.i | : | Libras por pulgada cuadrada |
| pulg. | : | Pulgada |
| R.P.M | : | Revoluciones por minuto |
| Sn | : | Estaño |
| Si | : | Silicio |

| | | |
|----------|---|------------------------------------|
| Su | : | Resistencia a la tracción |
| Sy | : | Resistencia a la fluencia |
| Ssy | : | Resistencia de fluencia al corte |
| t | : | Ancho de Chaveta |
| ton | : | Tonelada |
| T | : | Torque |
| T' | : | Esfuerzo medio en una junta a tope |
| T'' | : | Esfuerzo torsional |
| Zn | : | Zinc |
| % | : | Porcentaje |
| π | : | 3.1416 |
| τ | : | Esfuerzo por corte |
| σ | : | Esfuerzo por aplastamiento |

ANTECEDENTES

La motonave "JERUSALEN" fue construida en Hamburgo - Alemania en 1965 como buque para transporte de carga en general. En 1988 fue adquirida por una compañía nacional para realizar fletes del continente hacia las Islas Galápagos.

El 11 de Septiembre de 1989 ingresó a uno de los diques flotantes de ASTINAVE para realizar trabajos normales de carenamiento, entre los que se puede anotar:

- * Limpieza obra viva - pintado.
- * Mantenimiento de válvulas de fondo y tomas de mar.
- * Protección catódica del casco.
- * Cambio de planchaje.
- * Revisión - reparación del sistema de gobierno.

Esto último se incluyó por existir dificultad de respuesta al giro del timón durante la navegación. La reparación del sistema de gobierno incluyó el cambio de bocines del

tintero y limera.

En cuanto al sistema de propulsión, no existen reportes de toma de claros de los bocines, por lo que se deduce que no fue inspeccionado. Las causas probables por las que no se realizó dicha inspección fueron:

- Normal funcionamiento del sistema durante la navegación.
- Dificultad para tomar los claros, por la complejidad de desacoplar las partes del sistema.
- Incremento de costos.

Es así que al cabo de siete meses desde el carenamiento arriba descrito, el buque tuvo que ser nuevamente varado debido a que en el sistema de propulsión se detectó lo siguiente:

- Altas vibraciones.
- Pérdida y contaminación del aceite lubricante.
- Dificultad al cambiar el paso de la hélice.

Se puede decir que, el no revisar el sistema de propulsión durante el carenamiento (mantenimiento) normal del buque trajo como consecuencia:

- Ingresar nuevamente a dique.

- Desgaste excesivo de los bocines.
- Deflexión de eje de cola.
- Incremento en los costos de operación del buque.
- Disminución de las ganancias por fletes debido a reparación.

CAPITULO I

DEFINICION DEL PROBLEMA

1.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA MOTONAVE

La motonave "Jerusalén" es una embarcación de transporte de carga en general, su casco fue hecho con planchas de acero LR1 C-Mn-Ni-Si ($S_u= 45 \text{ Kg/mm}^2$; $S_y=30 \text{ Kg/mm}^2$). Fué construido en Hamburgo-Alemania, en 1965 y su sistema de propulsión está provisto con una hélice de paso variable. A continuación se indican las características principales de la motonave, su máquina principal y auxiliares:

| | |
|------------------------------|--------------|
| Eslora total | 61,90 m. |
| Eslora entre perpendiculares | 55,00 m. |
| Manga máxima | 10,00 m. |
| Puntal | 6,20 m. |
| Calado | 3,97 m. |
| Peso muerto | 1050,00 ton. |
| Velocidad máxima | 12,00 nudos. |
| Velocidad de régimen | 10,00 nudos. |

Armador

ACOTRAMAR.

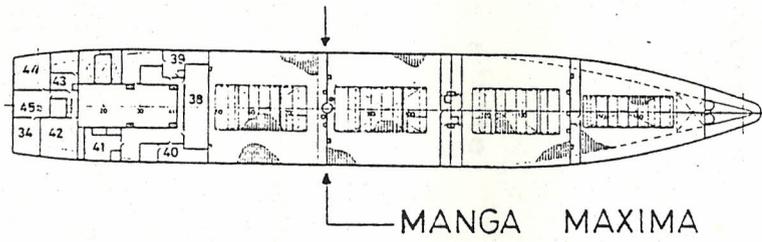
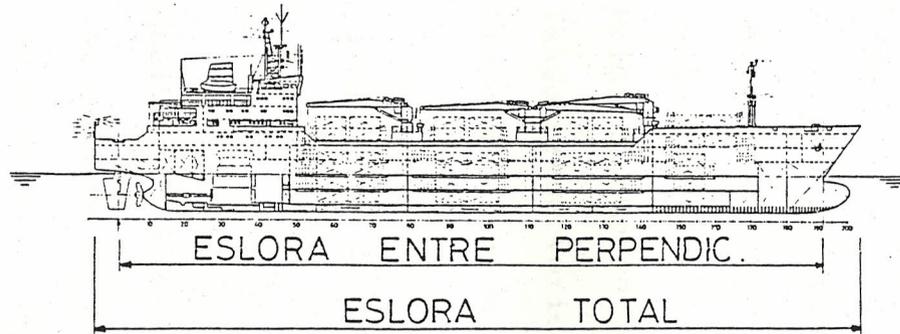
Donde las características del motor son las siguientes:

| | |
|-----------------------|----------------|
| Marca | ALPHA -DIESEL. |
| Procedencia | Danesa. |
| Combustible | Diesel. |
| Enfriamiento | Agua. |
| Tipo | 408-24Vo. |
| Tiempo | 2. |
| Número de cilindros | 8. |
| Potencia Indicada | 820 HP. |
| Potencia friccional | 140 HP. |
| Eficiencia mecánica | 83 %. |
| Potencia al freno | 680 HP. |
| Revoluciones por min. | 400 RPM. |

Siendo las características de la Hélice.

| | |
|----------|----------------|
| Tipo | Paso variable. |
| Diámetro | 1750 mm. |
| Material | Br-Al-Ni. |

Ver figs : 1 y 2 .



| | | |
|---|--------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | | 2 |
| CARACTERISTICAS PRINCIPALES M/N "JERUSALEN" | Dib: W. SILVA. | |
| | Rev: Ing. MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB / 94 | |

1.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA DE PROPULSION

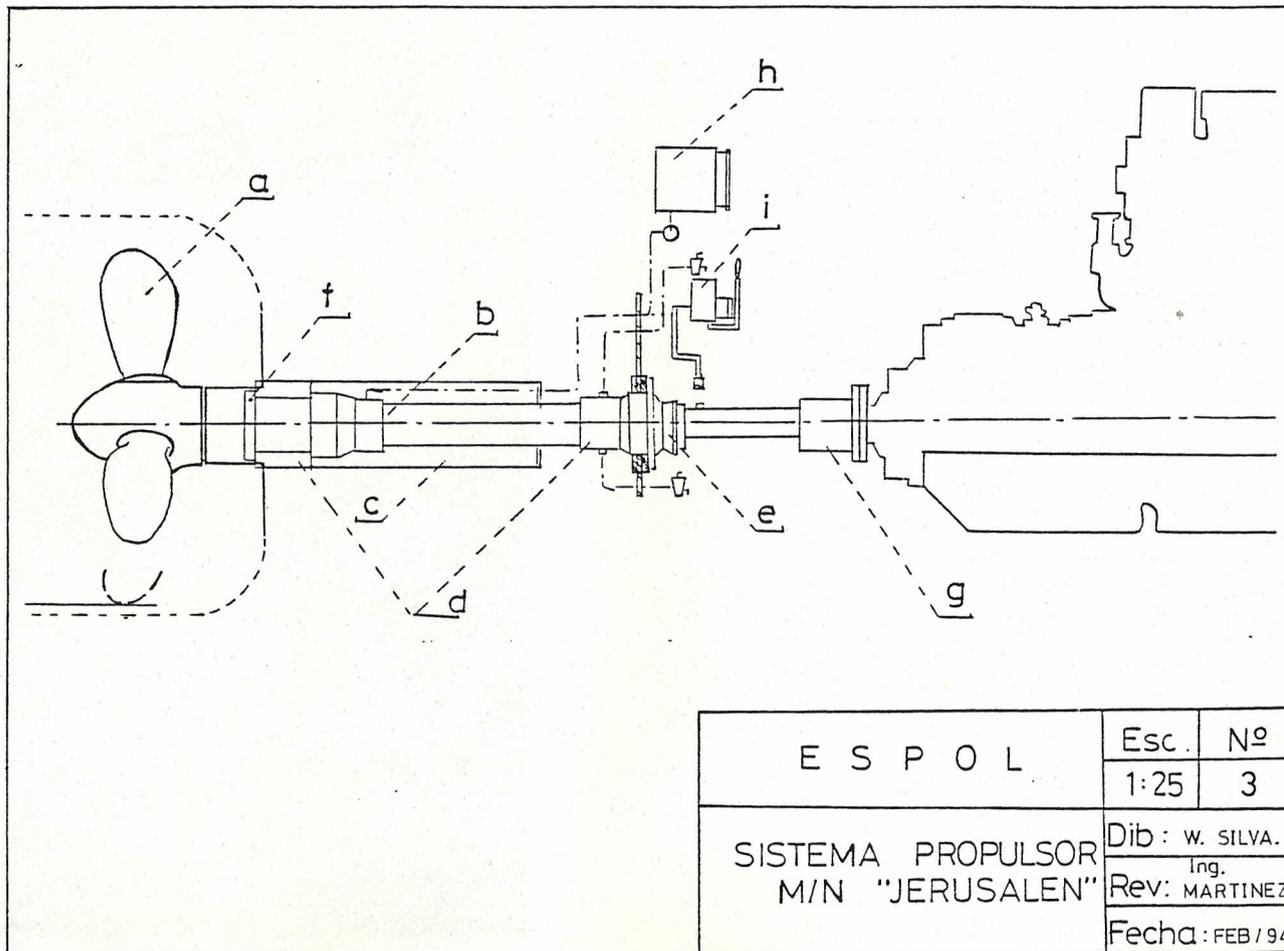
El sistema de propulsión de esta unidad está conformado por los siguientes elementos (figs. # 3 y 4):

- a) Hélice de paso variable
- b) Eje de cola
- c) Túnel
- d) Bocín del prensa y codaste
- e) Sello interior
- f) Sello exterior
- g) Brida de amarre
- h) Tanque-reservorio de aceite
- i) Pistola de grasa

Las cuales se tratará en relación a su función y composición:

- a) HELICE DE PASO VARIABLE .- Una hélice de paso variable es un impulsor convencional, cuyas aspas son móviles, permitiendo que el paso sea controlado a distancia por medio de instrumentos hidráulicos, mecánicos y/o eléctricos.

Entre las ventajas principales de este sistema se indicará las siguientes:



| | | |
|--------------------------------------|----------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:25 | 3 |
| SISTEMA PROPULSOR M/N "JERUSALEN" | Dib: W. SILVA. | |
| | Ing. | |
| | Rev: MARTINEZ | |
| Fecha: FEB/94 | | |

- Mayor eficiencia en condiciones variables de carga.
- Reversa, no hay necesidad de invertir la máquina, pues es suficiente invertir el paso, lo cual es más rápido,
- Operación a baja velocidad. Cuando se requiera disminuir la velocidad del buque, no será necesario aminorar las revoluciones del motor, solamente habrá que regular el paso de la hélice.

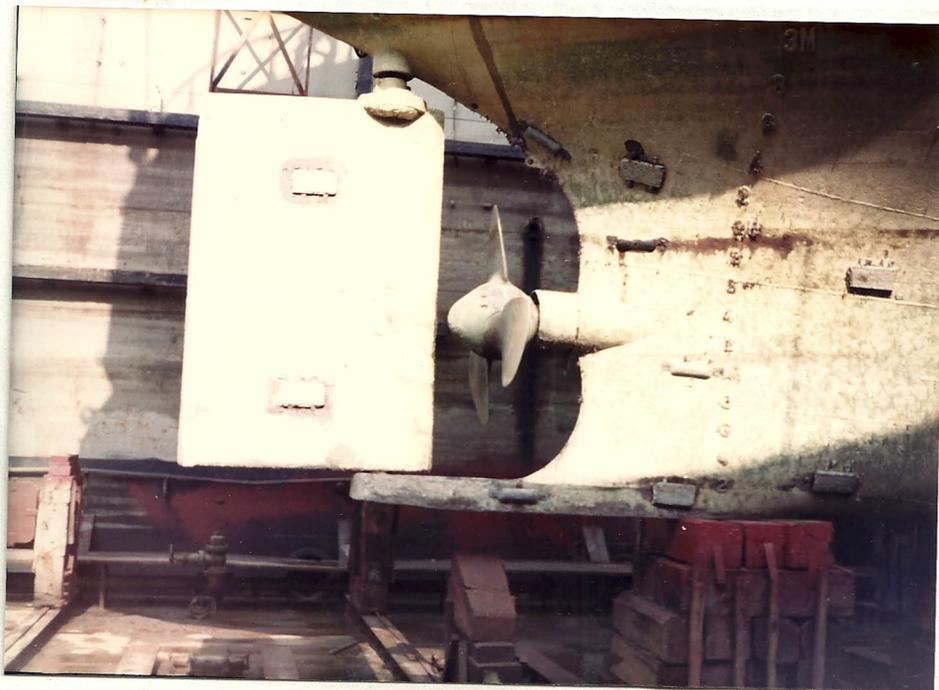


Fig.- 4. Vista de la hélice y pala del timón

Entonces se puede decir que los sistemas de propulsión equipados con hélice de paso variable permiten usar la potencia de la máquina con revoluciones constantes en regímenes diferentes del movimiento del buque.

El material de la hélice consiste de una aleación bronce-aluminio-níquel, compuesta de tres aspas montadas separadamente de la manzana (fig. # 5) y ésta unida al eje propulsor mediante una tuerca con su respectivo seguro.



Fig.- 5. Aspas de la hélice

Cada aspa dispone en su base de un retenedor, el mismo que impide u obstruye la filtración del agua de mar a la manzana de la hélice. En el interior de la manzana se encuentra la cabeza del eje control de paso que tiene la forma triangular, la misma que en cada una de sus caras tiene un peine guía donde se aloja un dado perforado, el cual acopla al canal de la base del aspa.



Fig.- 6. Manzana de la hélice desarmada

Cuando el eje control de paso se desplaza axialmente al roscarse o desenroscarse al vástago de pistón en el eje de empuje, lo cual es controlado desde el puente de gobierno, produce la rotación de cada una de las aspas sobre su eje vertical, efectuándose así el cambio de paso de la hélice.

El despiece completo de este tipo de hélices se puede observar en las figuras # 6,7 y 8.



Fig.- 7. Manzana de la hélice

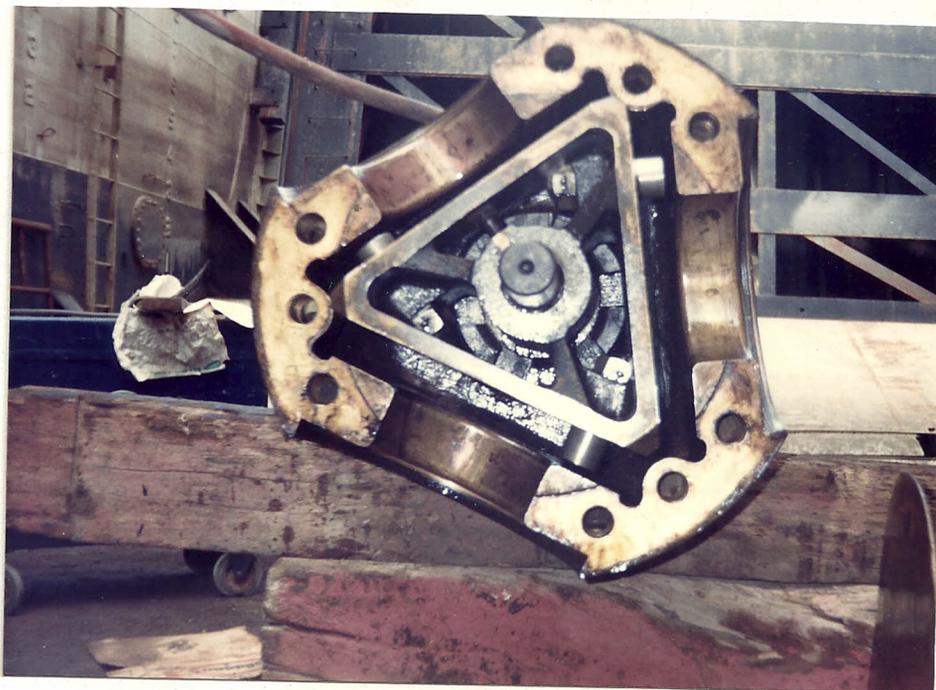


Fig.- 8. Parte interior de la manzana

b) EJE DE COLA .- El eje de cola tiene la función de transmitir el torque de la máquina a la hélice y a su vez la fuerza de empuje a la estructura del buque, produciendo el movimiento del mismo.

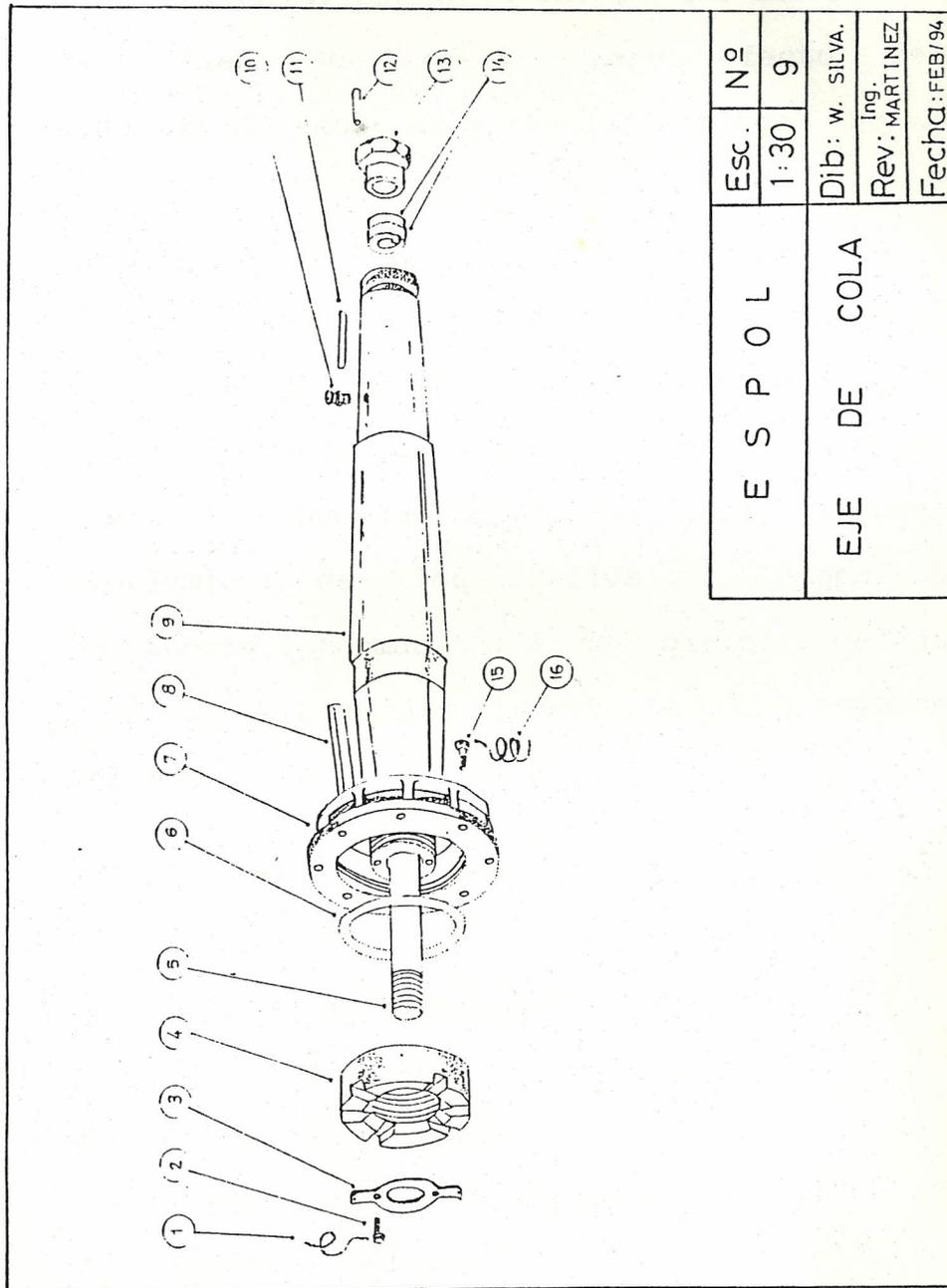
Este eje, por formar parte de un sistema equipado con hélice de paso variable, es hueco, por cuyo interior se encuentra el eje control de paso.

Su material consiste de una aleación de bronce-aluminio.

Se encuentra acoplado por el extremo cónico a la hélice mediante chavetero-tuerca con seguro; y por el extremo cilíndrico se acopla a la brida de amarre mediante chavetero. Se encuentra provisto de perforaciones roscadas que sirven como medio para introducir grasa al interior del mismo, a efecto de mantener lubricado y facilitar así el movimiento relativo del eje control de paso.

Los componentes del eje de cola (fig. # 9) son:

- 1.- Alambre de seguridad
- 2.- Perno del seguro
- 3.- Seguro de la tuerca
- 4.- Tuerca de la hélice
- 5.- Eje control de paso
- 6.- Anillo de caucho
- 7.- Prensa
- 8.- Chaveta
- 9.- Eje propulsor
- 10.- Neplo
- 11.- Chaveta de brida
- 12.- Prisionero
- 13.- Empacador
- 14.- Empaque
- 15.- Pernos
- 16.- Alambre de seguridad.

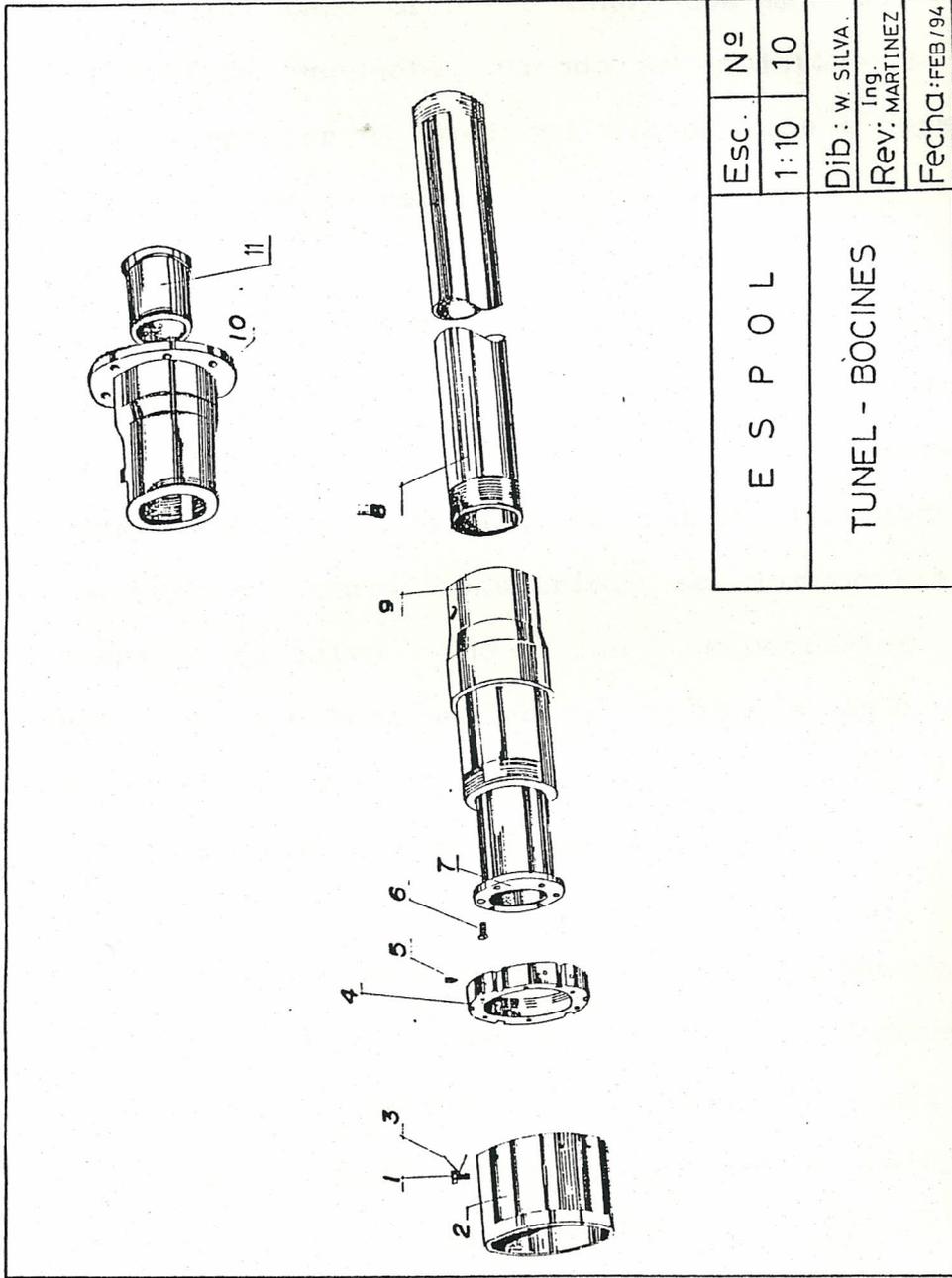


| | | |
|----------------|------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:30 | 9 |
| EJE DE COLA | | |
| Dib: w. SILVA. | | |
| Ing. MARTINEZ | | |
| Fecha: FEB/94 | | |

c) TUNEL .- Es la sección donde se encuentra situados los bocines de codaste y prensa, su función es la de proteger al eje de cola, ya que siempre deberá estar lleno de aceite para efecto de la lubricación entre el eje y los bocines.

Observando la fig. # 10, se ve que está constituido por tres partes: tubo central, tubo portabocín de codaste, tubo portabocín del prensa; que se encuentra unidos por rosca con el objeto de lograr la longitud apropiada para el perfecto acoplamiento de los sellos. Ambos tubos portabocines forman parte del circuito de entrada y salida del aceite lubricante. Los componentes del túnel son:

- 1.- Pernos
- 2.- Protector
- 3.- Alambre de seguridad
- 4.- Tuerca del túnel
- 5.- Perno de la tuerca
- 6.- Pernos del bocín de codaste
- 7.- Bocín de codaste
- 8.- Tubo del túnel
- 9.- Tubo portabocín del codaste
- 10.- Tubo portabocín del prensa
- 11.- Bocín del prensa.

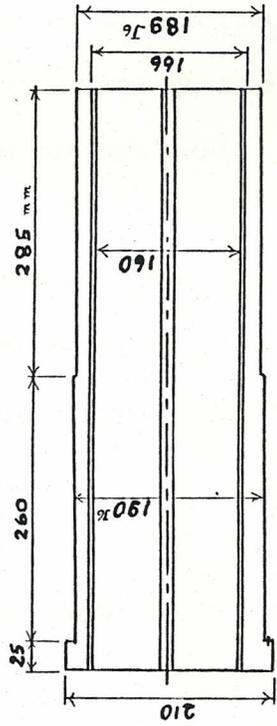


| | | |
|--------------------|------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:10 | 10 |
| Dib: w. SILVA. | | |
| Rev: Ing. MARTINEZ | | |
| Fecha: FEB/94 | | |
| TUNEL - BOCINES | | |

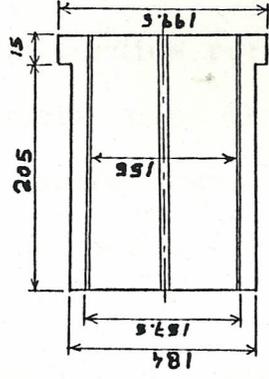
d) BOCINES DEL PRENSA Y CODASTE .- Ambos bocines son de material base bronce-estaño, con magnolia como material de desgaste, siendo su objetivo la de guiar, soportar el peso del eje de cola e impedir su movimiento radial.

Como se indicó anteriormente, este sistema es enfriado por aceite, debe controlarse periódicamente los claros y la correcta lubricación evitando así el pronto deterioro de las partes, caso contrario, se produciría el desgaste excesivo de las superficies en rozamiento, desalineamiento, deflexión del eje, presencia de vibraciones, etc. En la fig. # 11, se puede observar sus dimensiones.

e-f) SELLOS INTERIOR Y EXTERIOR .- La función de los sellos es doble: primero, evitar el ingreso de agua de mar a través de los cojinetes hacia el interior del buque; segunda, mantener el aceite en el túnel, no permitiendo su escape y contaminación. A estos sellos se los conoce como sellos de superficie o de cara y son utilizados como sello interior y exterior en sistemas de propulsión lubricados por aceite.



CODASTE



PRENSA

| | | |
|------------------------|------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:4 | 11 |
| DIMENSIONES DE BOCINES | | |
| Dib : W. SILVA. | | |
| Ing. MARTINEZ | | |
| Fecha: FEB / 94 | | |

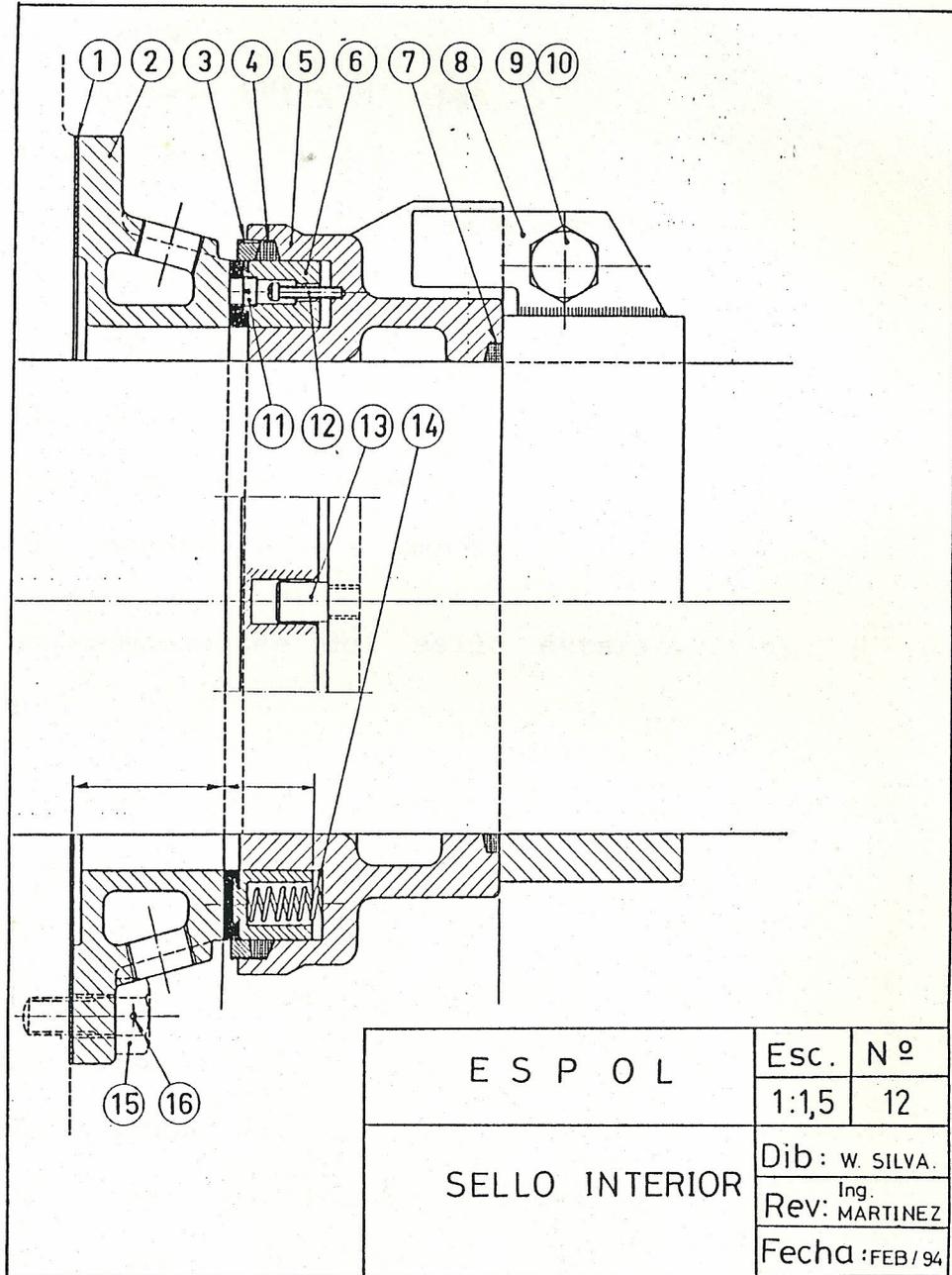
Las características de estos sellos dinámicos que hacen su uso deseable son: habilidad de ajustarse a los movimientos mínimos radial y axial del eje; reducida pérdida por fricción; la ausencia o falta de desgaste con el eje; capacidad de soportar mayor presión que aquella que soportarían los sellos de prensa estopa.

Estos sellos se componen de dos partes: una que rota con el eje y la otra fija al túnel. Se acoplan de tal forma que de existir un movimiento relativo axial y radial entre ellas, no afecta su función de sellado.

El material base de ambas partes es una aleación de bronce-estaño, siendo solamente la parte fija revestida con material de desgaste de plomo-estaño.

Los componentes del sello interior (fig. # 12) son:

- 1.- Empaque
- 2.- Parte fija (espejo) con circuito de enfriamiento
- 3.- Empacador
- 4.- Empaque

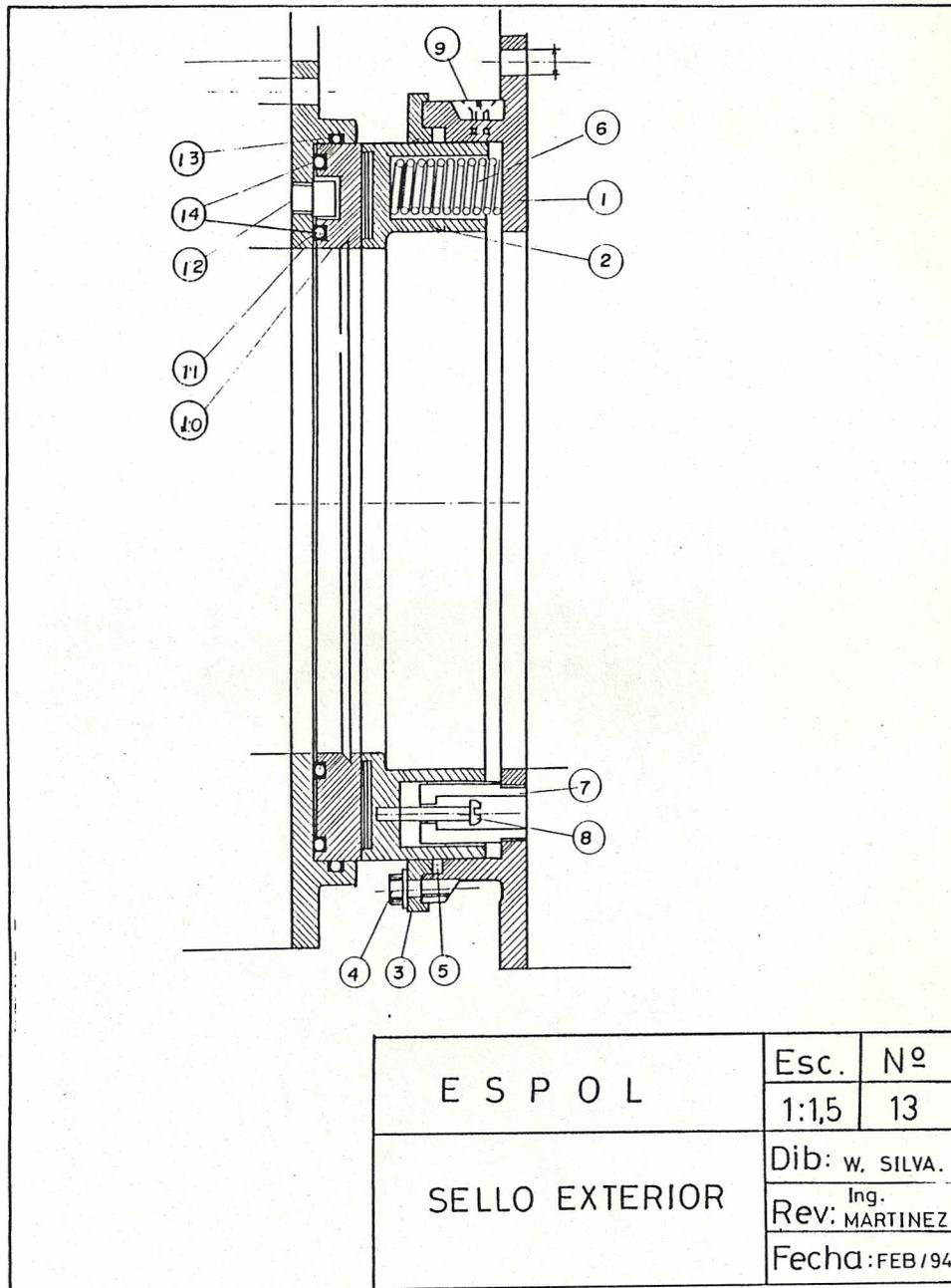


- 5.- Parte móvil
- 6.- Sello
- 7.- Empaque
- 8.- Soporte (fijo al eje)
- 9-10.- Perno y arandela
- 11.- Pines guía (parte móvil-sello)
- 12.- Tornillos
- 13.- Pines guía
- 14.- Resorte
- 15.- Perno de fijación
- 16.- Agujero para alambre

Los componentes del sello exterior (fig. # 13)

son:

- 1.- Parte móvil (fija a la manzana de la hélice)
- 2.- Sello
- 3.- Empacador
- 4.- Pernos del empacador
- 5.- Empaque
- 6.- Resorte
- 7.- Pines guía (parte móvil-sello)
- 8.- Tornillos 9.- Tapón
- 10.-Espejo
- 11.-Parte fija al codaste
- 12.-Pines guía (parte fija-espejo)
- 13-14.-Empaques.



| | | |
|---------------|--------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:1,5 | 13 |
| SELO EXTERIOR | Dib: W. SILVA. | |
| | Rev: Ing. MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB/94 | |

g) BRIDA DE AMARRE .- La brida de amarre es de material de hierro fundido, consta de dos mitades y se acopla al eje de cola en el extremo cilíndrico mediante chavetero y pernos (fig.# 14).

En su parte anterior se une a la brida del eje de empuje por medio de pernos.

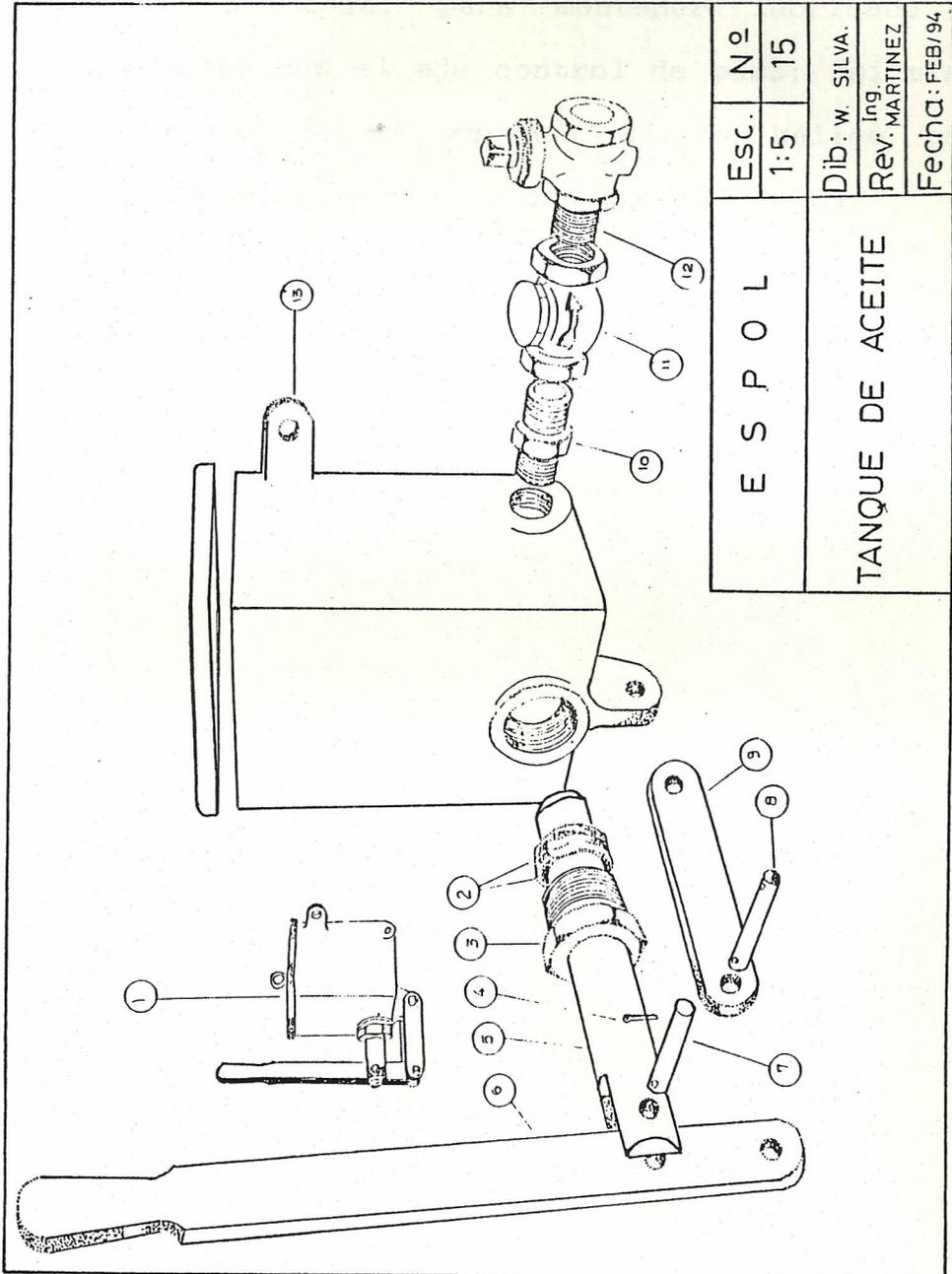


Fig.- 14. Brida de amarre original

h) TANQUE RESERVORIO DE ACEITE .- Es el recipiente que contiene el aceite lubricante del sistema, y que por medio de los circuitos mantendrá la capa lubricadora necesaria para evitar el contacto metal-metal en los bocines. Este recipiente deberá estar siempre sobre la línea de agua del buque para que la presión del aceite sea mayor en 5 psi., a la presión estática del agua de mar, evitando así la filtración de la misma .

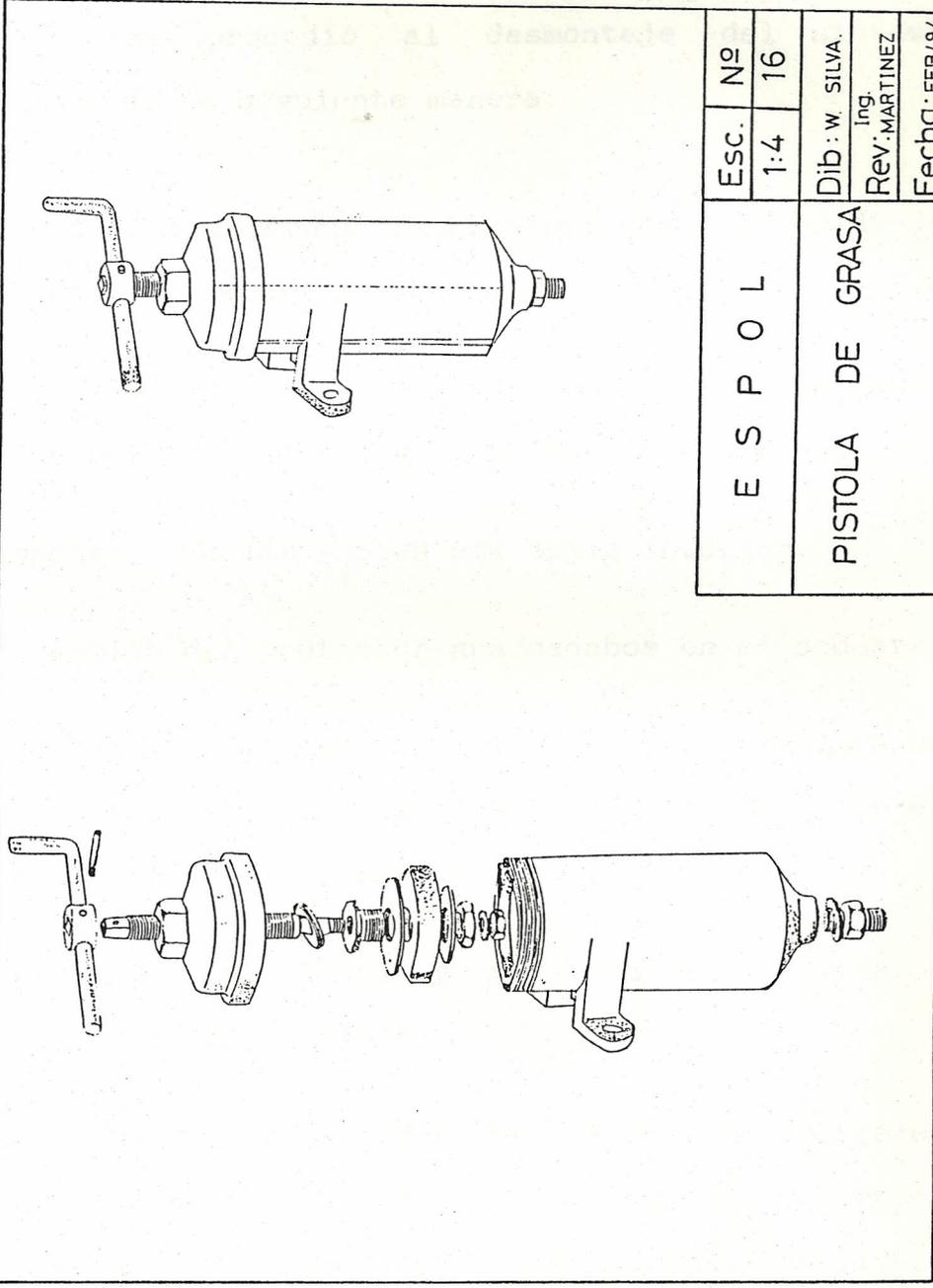
Los componentes del tanque reservorio (fig. # 15) son:

- 1.- Tanque
- 2.- Empaquetadura
- 3.- Empacador
- 4.- Seguro
- 5.- Vástago de la bomba
- 6.- Mango
- 7-8.- Pasadores
- 9.- Platina
- 10.- Neplo
- 11.- Válvula cheque
- 12.- Válvula de paso
- 13.- Fijadores



| | | | |
|------------------|--|--------------------|----|
| E S P O L | | Esc. | Nº |
| | | 1:5 | 15 |
| TANQUE DE ACEITE | | Dib: W. SILVA. | |
| | | Rev: Ing. MARTINEZ | |
| | | Fecha: FEB/94 | |

i) PISTOLA DE GRASA .- Es el instrumento mediante el cual se introduce la grasa necesaria al interior del eje de cola, para mantener lubricada la superficies con el eje control de paso; así mismo al interior de la manzana de la hélice para facilitar el giro de las aspas (fig. # 16).



| | | |
|------------------------|------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:4 | 16 |
| PISTOLA DE GRASA | | |
| Dib: w. SILVA. ing. | | |
| Rev: MARTINEZ | | |
| Fecha: FEB/94 | | |

1.3 DESMONTAJE DEL SISTEMA PROPULSOR Y ANALISIS DE FALLA.

Una vez realizado el varamiento respectivo de la motonave, se procedió al desmontaje del sistema propulsor de la siguiente manera:

- Extracción de pernos de fijación entre la brida de amarre y brida del eje de empuje,
- Extracción de los pernos que unen las dos mitades de la brida de amarre y desmontaje de la misma,
- Desmontaje de las partes del sello interior.
- Extracción del protector-guardacabos en el codaste,
- Rotación del eje de cola a fin de desenroscar el eje control de paso del vástago del pistón en el interior del eje de empuje.
- Desmontaje del barón y pala en el sistema de gobierno (figs. # 17-18).
- Toma directa (calibrador de linternas) de claros en los bocines de codaste y prensa; e indirecta (diferencia de diámetro) en los bocines de limera y tintero (fig. # 19).
- Por encontrarse solamente los claros del sistema de propulsión fuera del rango permisible, indicados en

el Manual Técnico NAVSHIPS (ver tabla: I), se procede al desmontaje de las siguientes partes:

- Extracción del conjunto eje de cola-hélice (fig. #20).
- Desacoplamiento del conjunto (figs. # 21 y 22).
- Envío de eje de cola y eje control de paso a los talleres de ASTINAVE, para proceder a la verificación de las deflecciones de los mismos.
- Desmontaje de la parte fija del sello exterior.
- Extracción de los bocines de codaste y prensa, por detectar a simple vista deterioro, comprometiendo al tubo portabocín (figs. # 23 y 24).

Luego de realizar la inspección exhaustiva de las partes del sistema de propulsión, se procede a indicar el estado de las mismas:

- Eje de cola: presentaba deflexión máxima de 12,7 mm. (fig. # 25).
- Eje control de paso: presentaba deflexión máxima de 1,346 mm. (fig. # 26).
- Bocín del codaste: desgaste excesivo, inservible (fig. # 27).

TABLA I

CLAROS PERMISIBLES PARA COJINETES RECUBIERTOS CON METAL
BABBIT LUBRICADOS POR ACEITE

| DIAMETRO DEL EJE (pulg.) | CLAROS MINIMOS DE OPERACION (pulg.) | CLAROS MAXIMOS DE OPERACION (pulg.) | CLAROS PARA REMETALAR (pulg.) |
|--------------------------------|---|---|-------------------------------------|
| 1 | 0,007 | 0,009 | 0,017 |
| 2 | 0,007 | 0,009 | 0,017 |
| 3 | 0,007 | 0,009 | 0,017 |
| 4 | 0,007 | 0,009 | 0,017 |
| 5 | 0,008 | 0,010 | 0,019 |
| 6 | 0,010 | 0,012 | 0,022 |
| 7 | 0,011 | 0,013 | 0,023 |
| 8 | 0,012 | 0,014 | 0,028 |
| 9 | 0,013 | 0,015 | 0,030 |
| 10 | 0,015 | 0,018 | 0,033 |
| 11 | 0,016 | 0,019 | 0,036 |
| 12 | 0,017 | 0,020 | 0,038 |
| 13 | 0,018 | 0,021 | 0,040 |
| 14 | 0,020 | 0,023 | 0,042 |
| 15 | 0,021 | 0,025 | 0,044 |
| 16 | 0,022 | 0,026 | 0,046 |
| 17 | 0,023 | 0,027 | 0,047 |
| 18 | 0,024 | 0,028 | 0,049 |
| 19 | 0,025 | 0,029 | 0,051 |
| 20 | 0,027 | 0,032 | 0,052 |

- Bocín del prensa: desgaste excesivo, inservible (fig. # 28).
- Sello exterior: ambas partes en sus superficies de sellado presentaban gran deterioro; además del desgaste en su parte inferior por el asentamiento del eje de cola (fig. # 29).
- Sello interior: igual al exterior (fig. # 30).



Fig.- 17. Desmontaje del barón y pala del timón

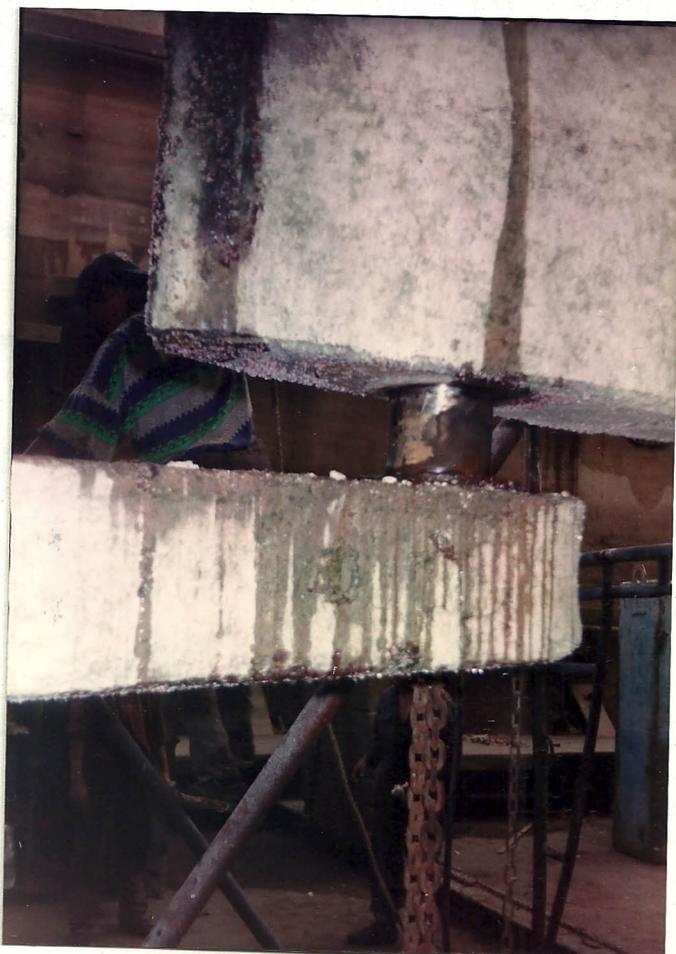


Fig.- 18. Pala del timón: desmontaje

INFORME DE VARAMIENTO
EJES - DESCANSOS - AGUACATES
GUARDA CAROS Y SELLOS

DETEC No. 5

PRESENTADO POR LOS VARNADEROS CUANDO SE HAN HECHO REPARACIONES O EL DESGASTE ES EXTENSO

FECHA VARAMIENTO

SIMBOLOS:

CONDICION Y TRABAJO HECHO

- R = RAJADURAS
- B = BUENA CONDICION
- FD = FLOJO
- F = FALTANTE
- O = OTRO (Especifique)
- E = ESCOPIADO
- C = CORROIDO
- RE = REPARADO
- D = CAMBIADO (Indique Material)
- D = DESGASTADO

MATERIAL FRICCION

- CH = CAUCHO
- PF = PLASTICO FENOLICO
- M = MADERA
- O = OTRO (Especifique)

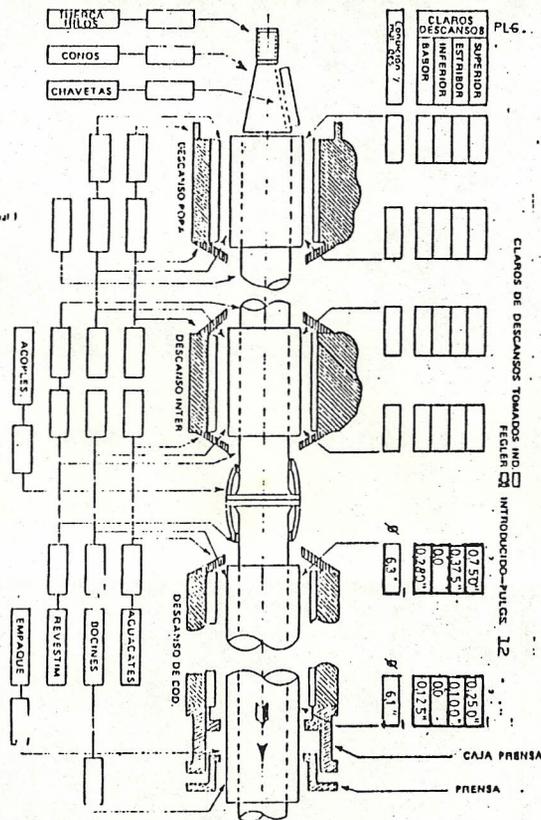
MATERIAL DE EMPAQUE

- SM = SEMI-METALICO
- MR = MERGOLLAN
- RE = RESINOSO
- O = OTRO (Especifique)

MATERIAL REVESTIMIENTO

- CF = CAUCHO (Trat. Frio)
- CC = CAUCHO (Trat. Cal)
- BB = BOCIN DE BRONCE TODO
- PC = PINTURA CAUCHO
- O = OTRO (Especifique)

USE UNA HOJA PARA CADA EJE
A LA EXTENSION APLICABLE



FIRMA _____ NOMBRE CLASE Y NUMERO DEL BUQUE _____

Fig.-19. Claros de entrada a dique



Fig.- 20. Desmontaje del conjunto eje hélice



Fig.- 21. Desarmado de la hélice



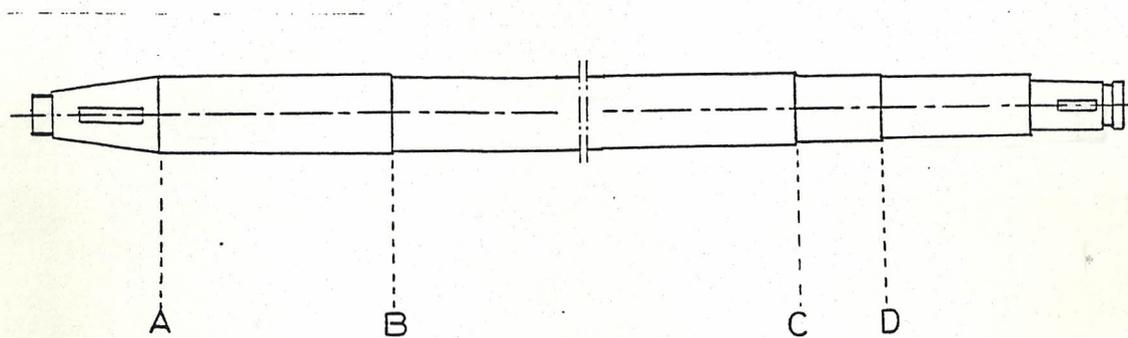
Fig.- 22. Eje control de paso: listo para montaje



Fig.- 23. Bocín del codaste antes de ser desmontado

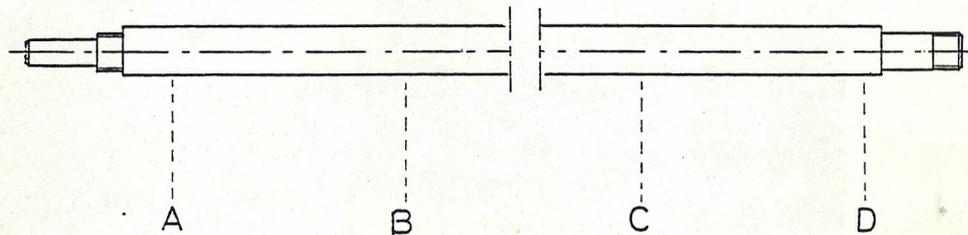


Fig.- 24. Tunel: vista interior



| Sec | mm |
|-----|--------|
| A | 2,286 |
| B | 12,700 |
| C | 2,540 |
| D | 1,346 |

| | | |
|--|-------------------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:15 | 25 |
| EJE DE COLA DEFLECCIONES Iniciales | Dib: w. SILVA. | |
| | Rev: ^{Ing.} MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB/94 | |



| Sec: mm | |
|---------|-------|
| A | 0,508 |
| B | 1,346 |
| C | 0,787 |
| D | 0,432 |

| | | |
|---|--------------------|----|
| E S P O L | Esc | Nº |
| | 1:5 | 26 |
| EJE CONTROL DE PASO DEFLECCION INICIAL | Dib: w. SILVA. | |
| | Rev: Ing. MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB / 94 | |



Fig.- 27. Bocín del codaste: anterior y nuevo



Fig.- 28. Bocín desgastado del prensa



Fig.- 29. Sello interior deteriorado



Fig.- 30. Sello exterior - interior

1.4 DETERMINACION DEL PROBLEMA

Habiendo determinado las condiciones de las partes afectadas, se procederá a analizar las posibles causas que originaron las mismas.

Se sabe que las condiciones propias de trabajo en este tipo de embarcación son variables, lo que incide en el sistema propulsor, en cuanto a la carga que el eje de cola ejerce sobre los bocines que lo soportan, dando lugar al desgaste normal del material de fricción. Este desgaste será de menor o mayor magnitud dependiendo del factor predominante como lo es la lubricación.

Y es así que se procedió a investigar todo aquello que influyera en la realización de una buena lubricación en el sistema de propulsión, determinándose que el circuito de entrada de aceite al tubo portabocín del codaste en el túnel estaba inhabilitado por efecto de corrosión de la tubería, por lo cual procedían a suministrar el aceite por otro medio; además se encontró que la perforación de entrada de aceite al tubo portabocín del codaste estaba obstruido.

Como una segunda posible causa, se consideró el sello exterior, por cuanto el mismo presentaba: desgaste total del material de fricción y superficies de contacto muy irregular. Esto traería como consecuencia la pérdida del aceite lubricante y por ende la posible contaminación del que quedaba, mermando sus propiedades de lubricante. Vale indicar que esto último fué confirmado por el personal encargado del mantenimiento de máquina.

Finalmente se puede decir, que otra causa probable habría sido un golpe en la hélice con un objeto sólido externo a la nave que estaba en el agua, pues las aspas presentaban deformación, provocando la deflección del eje de cola, incidiendo en el desgaste excesivo y no uniforme en los bocines.

Como conclusión, se dirá que tres posibles causas fueron las que incidieron en la existencia del problema:

- Circuito de entrada de aceite: inhabilitado, obstruído.
- Sello exterior: excesivo deterioro.
- Eje de cola : deflectado.

CAPITULO II

ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Hasta aquí se ha determinado las posibles causas y efectos del problema en las partes respectivas, a continuación se procederá a plantear las alternativas posibles de solución, las mismas que serán emitidas sin considerar en ningún momento las limitaciones económicas, ya que la decisión final quedará a criterio del Armador al seleccionar la alternativa más conveniente a sus intereses.

Antes de indicarlás vale la pena recordar que al momento el armador disponía de: un eje fracturado; bocines y sellos nuevos.

2.1 REPOSICION DE PARTES.

Esta primera alternativa representaba una solución altamente garantizada en cuanto a: calidad de material; funcionamiento con alta eficiencia; acabado de las piezas reemplazadas. Así como también incidía en el tiempo que conllevaría la reparación y puesta en marcha de la nave.

Pero, como se había indicado al inicio de este informe, el Armador no disponía de un eje de cola nuevo, por lo que había que considerar un tiempo de dos meses como mínimo para su importación. Esto era la mayor desventaja para esta alternativa, considerando las circunstancias imperativas igualmente ya indicadas.

2.2 REPARACION DE EJE DEFLECTADO.

Esta segunda alternativa involucraba acción inmediata, estimándose un tiempo aproximado de cuatro días para su culminación; ya que implicaba la construcción de una estructura apropiada para proceder al enderezado mecánico utilizando gatas hidráulicas, para posteriormente culminar el enderezado aplicando el método de puntos calientes mientras el eje estaba montado en el torno.

Además se debe anotar que no existía la certeza de lograr una corrección del 100 % efectivo, pues como se recordará el eje era hueco y los claros involucrados en relación a los bocines así como al eje control de paso en su interior eran mínimos.

2.3 REPARACION DEL EJE FRACTURADO, SIMILAR AL DEFLECTADO, POR MEDIO DE UNA JUNTA.

Esta tercera alternativa se presento al tener conocimiento de la existencia de un eje de cola igual al deflectado, pero con el inconveniente de presentar rotura a la altura del inicio del chavetero en el extremo cilíndrico de acoplamiento a la brida de amarre (fig. # 31), con la que se procede de inmediato a verificar sus deflecciones, las mismas que no eran excesivas (fig. # 32).

El tiempo estimado para cumplir con esta alternativa era de siete días, pues la misma involucraba los siguientes trabajos adicionales:

- Confección de nueva brida de amarre.
- Confección de nuevo tramo, unión por medio de junta soldada.
- Confección de nueva chaveta.

Esta alternativa al igual que la anterior era de acción inmediata e implicaba un costo considerablemente inferior con relación a la primera, así mismo proporcionaba el tiempo necesario para la

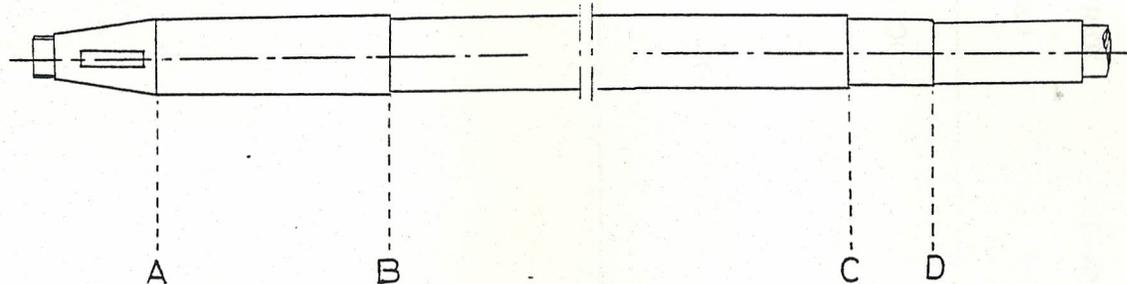
importación de un nuevo eje de cola.

Finalmente se indicará que esta alternativa tenía el carácter de solución temporal de cuatro a seis meses.

Se debe aclarar que los tiempos estimados en las dos últimas alternativas son exclusivamente en relación a la reparación del eje y los trabajos adicionales a los mismos.



Fig.- 31. Eje de cola iracturado, extremo cilíndrico



| Sec: mm | |
|---------|-------|
| A | 0,076 |
| B | 0,051 |
| C | 0,025 |
| D | 0,051 |

| | | |
|---|------------------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:15 | 32 |
| EJE DE COLA FRACTURADO Deflecciones | Dib: w SILVA | |
| | Rev: ^{Ing} MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB/94 | |

2.4 MATRIZ DE DECISION.

| ALTERNATIVA | COSTO/REP (Suces) | TIEMPO/REP (días) | CERTEZA (%) |
|-------------|----------------------|----------------------|------------------|
| 1era | 36'000.000 | 60 | 100 |
| 2da | 3'500.000 | 4 | 50 |
| 3era | 10'000.000 | 7 | 95 |

CAPITULO III

ALTERNATIVA SELECCIONADA RECUPERACION DE EJE FRACTURADO

Previamente se debe indicar bajo qué parámetros previos se iniciaba la solución por medio de esta alternativa:

- El armador se comprometía a suministrar: la brida de amarre en hierro fundido sin maquinar; el tramo de barra perforada de material bronce-aluminio de 50,8 mm., de diámetro interior, 165 mm., de diámetro exterior y 305 mm., de longitud; y las 8,5 lbs., de soldadura de bronce al aluminio necesarias para la unión, todo esto dentro de los tres días posteriores a la fecha de toma de decisión.

3.1 DISEÑO DEL TIPO DE JUNTA

Por estar el eje sometido a esfuerzos normales (compresión-flexionante) y a esfuerzos de corte torsionales, el tipo de junta será a tope, de forma en "V".

Ahora se procederá a determinar las dimensiones de la junta, cantidad de soldadura y finalmente la chaveta.

DIMENSIONES DE JUNTA

| | |
|----------------------------|---------------|
| Diámetro exterior del eje: | D = 140 mm. |
| Diámetro interior del eje: | d = 66,67 mm. |
| Longitud periférica : | L = 440 mm. |
| Potencia al freno : | 680 HP. |
| Revol. del Eje : | 400 RPM |

$$\text{Momento polar de inercia: } J = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4)$$

$$J = 35\,775.177,2 \text{ mm}^4$$

Se procederá a determinar el torque y la fuerza:

$$T = \frac{71600 \text{ HP}}{\text{RPM}}$$

$$T = 1'217.200 \text{ Kg-mm}$$

$$F = \frac{T}{r}$$

$$F = 17.389 \text{ Kg}$$

De los esfuerzos que actúan, el de torsión es el predominante ,entonces:

T' : Esfuerzo medio en una junta a tope

$$T' = \frac{F}{hl}$$

T'' : Esfuerzo torsional

$$T'' = \frac{Tr}{J}$$

Igualando $T' = T''$, se obtendrá que la altura del cordón de soldadura es :

$$h = 17 \text{ mm.}$$

TIPO Y CANTIDAD DE SOLDADURA

- La soldadura seleccionada será de acuerdo a criterio técnico, independientemente de su costo; es así que se presentaron a selección las siguientes:

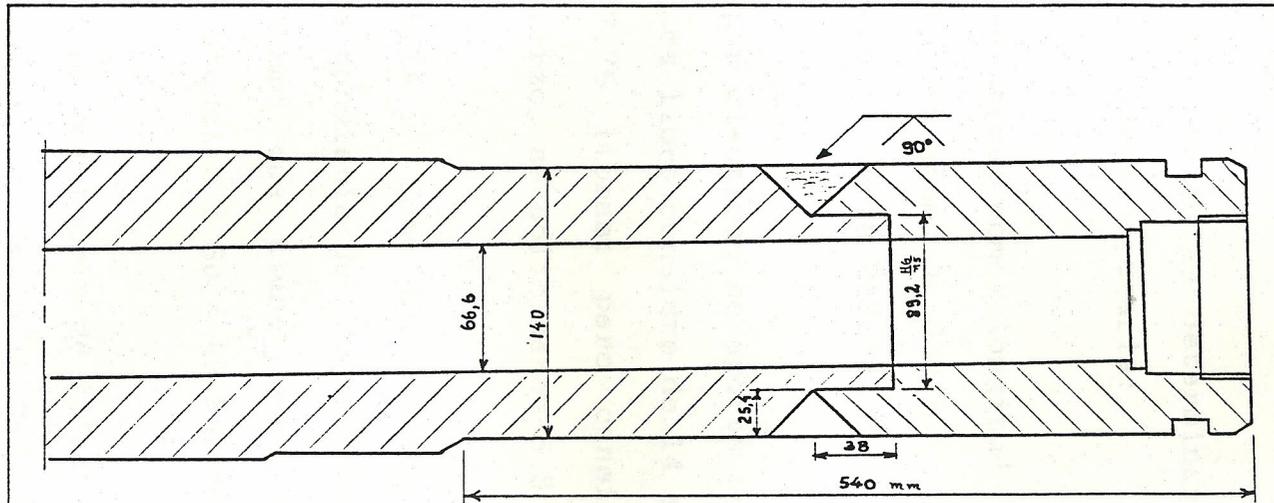
| TIPO | PROPIEDADES MECANICAS (Su - Sy) | CARACTERISTICAS |
|-----------------|------------------------------------|-----------------------|
| UTP 34N | 65 Kg/mm ² | Bronce aluminico |
| ESAB OK 94.25 | 60 Kg/mm ² | Aleación de Cu-Zn-Sn |
| INDURA ALBRO 12 | 63-27 Kg/mm ² | Aleación de bronce-Al |

La soldadura seleccionada fue la de bronce aluminico UTP 34N por sus propiedades características.

Los fabricantes de esta soldadura recomiendan un ángulo de abertura de 90 grados, lo que determinaría que:

$$h = 17 \text{ mm.} \quad b = 34 \text{ mm.}$$

Pero se decidió por seguridad dar las siguientes (fig. # 33).



| | | |
|---|--------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:2,5 | 33 |
| EJE DE COLA Extremo Cilindrico Junta a tope | Dib: W. SILVA. | |
| | Rev: Ing. MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB / 94 | |

$$h = 25,4 \text{ mm.}$$

$$b = 50,8 \text{ mm.}$$

A continuación se determinará la cantidad aproximada de soldadura necesaria:

Si se toma como longitud promedio del cordón de soldadura igual a 330 mm., el volumen requerido de soldadura sería 213.032 mm³.

Si por electrodo se aporta aproximadamente 1.966 mm³. y cada libra consiste de 14 electrodos, se necesitará de 7,75 libras; pero considerando el espesor del refuerzo, se solicitaron 8,5 lb.

CHAVETA .- Como se indicó anteriormente el eje de cola consistía de una aleación de bronce al aluminio, el mismo que tiene aproximadamente las siguientes resistencias : $S_u = 42 \text{ Kg/mm}^2$ y $S_y = 25 \text{ Kg/mm}^2$.

Se sabe por teoría de falla que : $S_{sy} = 0,577 S_y$,
entonces: $S_{sy} = 15 \text{ Kg/mm}^2$

Y que una chaveta fallará por corte ó aplastamiento, las cuales vienen dada por las siguientes relaciones:

Falla por corte (τ):

$$\tau = \frac{Ssy}{n} = \frac{F}{tL}$$

Falla por aplastamiento (σ):

$$\sigma = \frac{Sy}{n} = \frac{F}{(t/2) L}$$

Se conoce que por práctica se utiliza el ancho de la chaveta igual a la cuarta parte del diámetro del eje⁽⁴⁾, entonces este sería: $t = 35$ mm. Además, de acuerdo a referencia (2) el factor de seguridad será igual a 1,5.

Reemplazando estos valores en las relaciones anteriores se obtendrá:

$$L = 178 \text{ mm.}$$

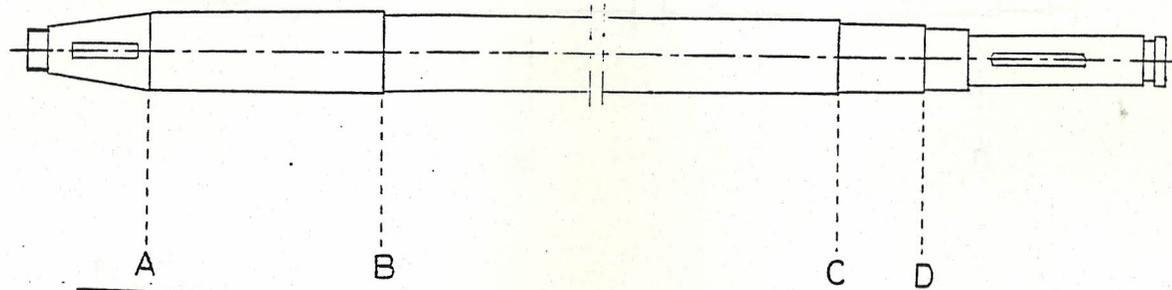
$$L = 207 \text{ mm.}$$

Seleccionando la segunda por mayor seguridad.

3.3 MONTAJE DEL SISTEMA PROPULSOR

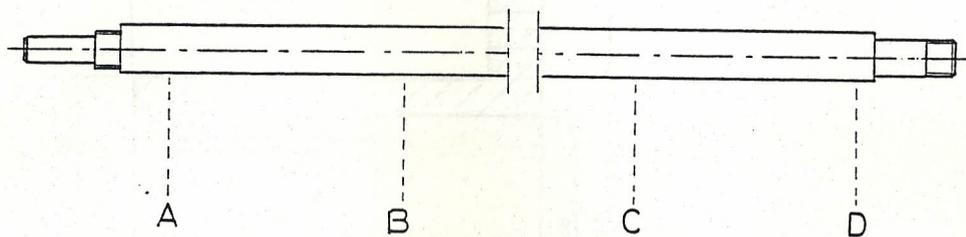
Una vez terminado la reparación del eje de cola; brida de amarre maquinada; chaveta confeccionada; circuito de lubricación reparado; bocines y sellos suministrados (figs. # 34 al 41), se procedió al montaje del sistema en la secuencia siguiente:

- Verificación de alineamiento túnel-máquina (fig. # 42).
- Montaje de bocines (fig. # 43).
- Montaje de eje-hélice.
- Montaje de barón y pala.
- Toma de claros de salida (fig. # 38).
- Colocación de las aspas de la hélice en su posición neutra.
- Fijación de brida de amarre al eje de cola, mediante chaveta y pernos respectivos.
- Acoplar el eje control de paso al vástago del pistón en el eje de empuje.
- Acoplamiento de los sellos interior-exterior, y circuito de enfriamiento (figs. # 44 y 45).
- Llenado del túnel con aceite, para verificar la estanqueidad en el mismo.
- Inyectado de grasa al interior del eje de cola y hélice, utilizando la respectiva pistola.
- Instalación del protector-guardacabo.



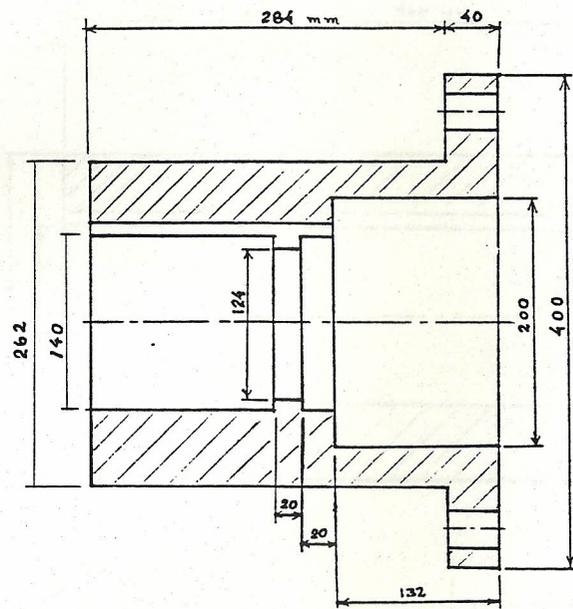
| Sec mm | |
|--------|-------|
| A | 0,076 |
| B | 0,051 |
| C | 0,025 |
| D | 0,051 |

| | | |
|--|-----------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:15 | 34 |
| EJE DE COLA Deflecciones Finales | Dib: W SILVA | |
| | Ing. Rev: MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB/94 | |

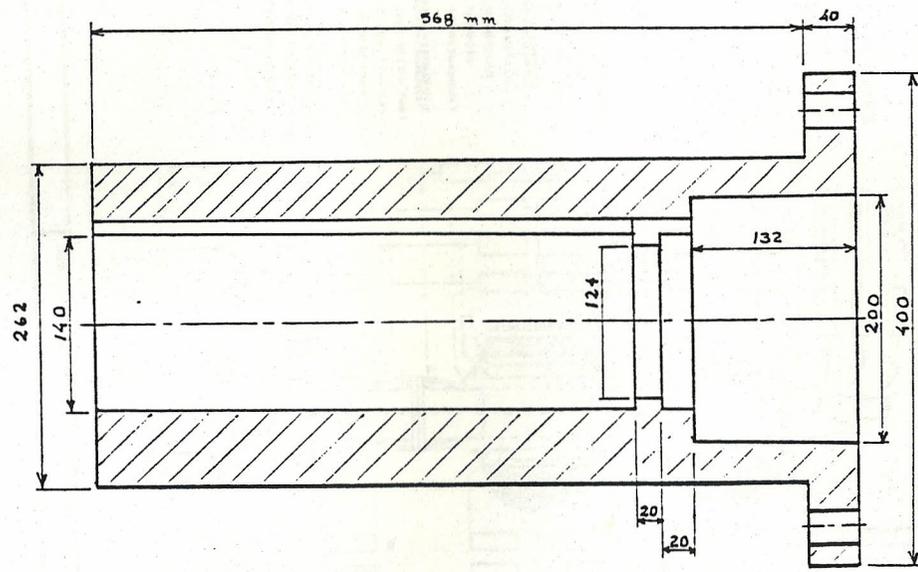


| Sec: mm | |
|---------|-------|
| A | 0,051 |
| B | 0,076 |
| C | 0,051 |
| D | 0,025 |

| | | |
|---|------------------------------|----|
| E S P O L | Esc | Nº |
| | 1:5 | 35 |
| EJE CONTROL DE PASO DEFLECCION FINAL | Dib: W. SILVA. | |
| | Rev: ^{ing} MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB/ 94 | |



| | | |
|-----------------------------|-------------------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:4 | 36 |
| BRIDA DE AMARRE Anterior | Dib: w. SILVA. | |
| | Rev. ^{Ing.} MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB/94 | |



| | | |
|---------------------------|--------------------|----|
| E S P O L | Esc. | Nº |
| | 1:4 | 37 |
| BRIDA DE AMARRE Actual | Dib: w. SILVA. | |
| | Rev. Ing. MARTINEZ | |
| | Fecha: FEB/94 | |

INFORME DE VARIAMIENTO
EJES - DESCANOS - AGUACATES
GUARDA CABOS Y SELLOS

DETEC No. 5

PRESENTADO POR LOS VARIADORES CUANDO SE HAN
HECHO REPARACIONES O EL DESGASTE ES EXTENSO

FECHA VARIAMIENTO

SIMBOLOS:

CONDICION Y TRABAJO HECHO:

- R = RAJADURAS
- B = BUENA CONDICION
- FO = FLOJO
- F = FALTANTE
- O = OTRO (Especifique)
- E = ESCONJADO
- C = CORROIDO
- RE = REPARADO
- C = CAMBIADO (Especifique Material)
- D = DESGASTADO

MATERIAL FRICCION

- CH = CAUCHO
- PF = PLASTICO FENOLICO
- M = MADERA
- O = OTRO (Especifique)

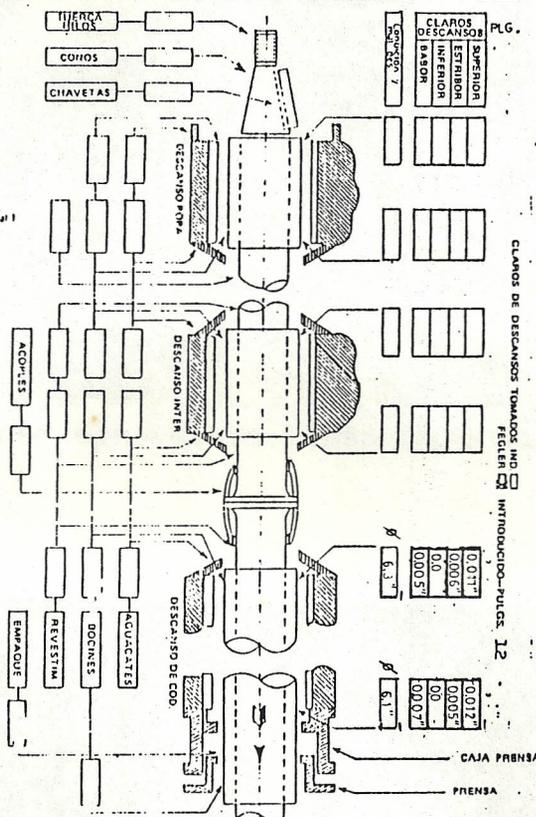
MATERIAL DE EMPAQUE

- SM = SEMI-METALICO
- MP = MENGOLLAR
- RE = RESINOSO
- O = OTRO (Especifique)

MATERIAL REVESTIMIENTO

- CF = CAUCHO (Trat. Frio)
- CC = CAUCHO (Trat. Cal)
- BB = BOCIN DE BRONCE 1000
- PC = PINTURA CAUCHO
- O = OTRO (Especifique)

USE UNA HOJA PARA CADA EJE
A LA EXTENSION APLICABLE



| | | | | | | |
|-------|--------|-------|---|--------|-----|-------|
| FIRMA | NOMBRE | CLASE | Y | NUMERO | DEL | BUQUE |
|-------|--------|-------|---|--------|-----|-------|

Fig.- 38 Claros de salida del dique

- Pruebas del sistema de gobierno - Desvarada.



Fig.- 39. Conjunto eje-hélice listo para su montaje



Fig.- 40. Bridas de amarre: anterior - actual



Fig.- 41. Bocines nuevos del prensa y codaste



Fig.- 42. Alineamiento de tunel - máquina



Fig.- 43. Bocín del codaste en posición



Fig.- 44. Sello interior y sistema de enfriamiento



Fig.- 45. Parte móvil del sello exterior

3.4 PRUEBAS

Una vez instaladas todas las partes del sistema de propulsión - gobierno, se procedió a la desvarada, remolcando el buque hacia el exterior del dique; una vez alejado del mismo se procedió de la siguiente manera:

- Alineamiento a flote eje-máquina.
- Acoplamiento eje-máquina.
- Puesta en marcha de la máquina.
- Navegación durante tres horas.
- Calibración del paso de hélice.
- Control constante del nivel en el tanque de aceite; estanqueidad en el sello interior; temperatura al tacto en el cojinete; presencia de vibraciones, etc.

Durante la navegación no se presentaron anomalías, procediendo al acto de recepción-entrega del buque al Armador.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Existe la capacidad técnica para realizar estos trabajos de precisión y calidad.
- La reparación fue realizado con buen criterio, tanto en su elección y ejecución, si consideramos el tiempo transcurrido desde su realización.
- Se logró cumplir con el tiempo estimado, ésto influyó favorablemente en el costo y tiempo total de permanencia de la unidad en el dique flotante.
- La inhabilitación del circuito de lubricación incidió enormemente en el desgaste excesivo en el bocín del codaste.
- Por la magnitud del desgaste producido, se estima que debió existir la presencia de indicios de falla con mucha antelación, no dando la importancia requerida.
- Existió la filtración del agua de mar hacia el túnel, pues existía presencia de corrosión al interior del mismo.
- Sí existió el golpe en la hélice que deflectó al eje de

cola, que influyó en el desgaste excesivo y finalmente a la presencia de vibraciones.

- De haberse tomado los claros en el sistema de propulsión en su último varamiento, se habría evitado el deterioro intenso en ciertos elementos.
- Se recomienda la revisión y mantenimiento periódico del circuito de lubricación del túnel.
- Se recomienda la renovación periódica del aceite, a fin de mantener siempre óptimas sus propiedades.
- Se recomienda el control diario del nivel de aceite en el reservorio, a fin de evitar quede vacío, evitando así el ingreso de agua de mar; determinando la causa y su solución inmediata.
- Se recomienda que en cada varamiento para carenamiento revisar e inspeccionar:
Estado superficial del sello exterior.
Los claros en ambos sistemas propulsión-gobierno.
- Se recomienda equipar con un instrumento de medición de temperatura al sello interior, para determinar su rango de funcionamiento sin y a plena carga.
- Se recomienda reemplazar el eje reparado por uno nuevo, a fin de evitar contratiempo inesperado, pues ha cumplido su objetivo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- CATERPILLAR; MOTORES MARINOS: Aplicación e instalación, Edición 1984.
- 2.- ECKER William E; PROPULSION SHAFTING, Department of Naval Architecture and Marine Engineering. Michigan, 1972.
- 3.- MAN B & W ; PROJECT GUIDE, 2nd Edición; 1993.
- 4.- PADOVEZI Carlos - KAZUO Hirata; INTRODUCING THE MARINE PROPELLER, Simpeller 1989.
- 5.- SHIGLEY Joseph Edward; DISEÑO EN INGENIERIA MECANICA, 2^{da} Edición; Mexico 1980.