

REMOTORIZACION DE UN BERGANTIN GOLETA

Capitán de Fragata Sr Luis Niemann Figari
lniemann@armada.cl

A. ANTECEDENTES

La Armada de Chile posee un velero tipo Bergantín Goleta, destinado al entrenamiento de los jóvenes guardiamarinas y marineros que se gradúan anualmente de las Escuelas Matrices. Su lanzamiento en los astilleros de Cádiz España fue el 12 de mayo de 1952. El navío posee un desplazamiento máximo de 3.673 toneladas, su eslora máxima es de 113 metros, con una superficie total de velamen de 2.870 metros cuadrados, con capacidad de izar 29 velas, habiendo logrando una velocidad máxima a vela de 17,5 nudos.

El diseño original del velero, consideraba la instalación de una planta de propulsión diesel, un eje con hélice de paso fijo. Se construyó con un motor Fiat, de velocidad lenta de 200 rpm, 1500 Hp, no requiriendo caja de reducción. El año 1973 este motor original, fue reemplazado por un motor de media velocidad de 800 rpm B&W de 2000 Hp. En dicha remotorización, se mantuvo la hélice y la línea de ejes originales del velero, siendo necesario incorporar una caja reductora 4:1 para mantener la velocidad óptima de eficiencia del propulsor.

Este motor B & W, operó más de 60.000 horas durante sus 27 años de servicio. Debido a fallas y al desgaste de los componentes internos, desarrolla tan sólo del orden del 75 % de su potencia máxima de diseño. La caja de engranajes tuvo reiteradas fallas que afectaron la propulsión y poseía una seria limitación operativa, al no poder dar atrás, hasta no haber disminuido la velocidad de rotación del eje a 40 RPM. La extensa línea de eje con sus 5 descansos intermediarios constituía otro factor de falla de su planta propulsora.

B. OBJETIVOS FIJADOS AL PROYECTO

El objetivo principal a lograr con la nueva planta propulsora, se fijó en desarrollar al menos 8 nudos con condiciones de hasta 35 nudos de viento por la proa y una velocidad máxima de 12 nudos en condiciones de viento calma.

Adicionalmente se pretendía mejorar el grado de confiabilidad del navío, mejorar la supervisión y control de la propulsión incorporando una Sala de Máquinas que contribuya al proceso de instrucción y entrenamiento práctico de los guardiamarinas y grumetes, orientados a la especialidad de Ingeniería.

C. EVALUACION DEL PROYECTO

En las etapas preliminares de evaluación, mediante un programa de predicción de potencia "NAVCAT", se determinó que la potencia aproximada requerida para desarrollar la velocidad esperada era de 2.600 hp aproximadamente.

Analizadas las diferentes alternativas, se determinó que tanto técnica como económicamente, la mejor solución para resolver el problema, consistía en reemplazar la totalidad de los componentes, entendiéndose por motor, caja de engranajes, línea de ejes, descansos asociados y hélice, considerando que la intención de la Armada de Chile es

mantener operativo este velero en el largo plazo. En la primera etapa de Anteproyecto Preliminar, se estudiaron las ofertas presentadas por 5 fabricantes de motores.

Siguiendo un proceso detallado de análisis de los aspectos técnicos, económicos y financieros, la mejor alternativa que cumplió con los criterios analizados, fue la propuesta de **MAN B&W Diesel Alpha**.

D. EJECUCION DEL PROYECTO

1. Contrato de Suministros y diseño

El contrato incluyó los equipos los siguientes componentes:

- a.) Motor (con silenciador y flexibles)
- b.) Caja de engranajes.
- c.) Línea de ejes y descansos intermedarios (2 unidades)
- d.) Hélice de paso controlable.
- e.) Generador de Cola (298 Kw.)
- f.) Sistema de supervisión y control de la propulsión (Puente y Sala de Máquinas)

2. Breve descripción del Proyecto

El motor MAN B&W modelo 12V23/30A es de una potencia máxima continua MCR de 1920 kW. (2610 Bhp) a 900 rpm del motor y 251 rpm del eje en condiciones extremas de climas tropicales con temperatura ambiente de 45 °C y 32 °C del agua de mar.

La caja de engranajes es tipo offset, de una reducción de 3,6:1. El motor tiene acoplado sus bombas primarias de combustible, lubricación, agua de chaqueta y agua de mar. El sistema de partida es con aire.

La hélice es un diseño especial de paso controlable y reversible, tipo full-feathering, es decir, con la posibilidad de quedar las palas en crujía con el eje. Esta opción fue detenidamente analizada y escogida, considerando la ventaja que representaría al anteponer mínima resistencia en navegación a vela. El análisis estadístico de los modos de operación del navío, determinó que en el último decenio la unidad navegaba en promedio aproximadamente el 40% del tiempo solamente a vela. En esta modalidad, su sistema de propulsión debía permanecer girando arrastrado para minimizar la resistencia friccional al avance, debiéndose mantener lubricando la caja de engranajes.

El sistema de aceite servo de la hélice VB suministrada con la caja de reducción Alpha, es parte integral de la caja de reducción. Esto significa que el pistón servo, la barra de retroalimentación y el anillo de distribución de aceite están localizados al interior de la caja.

El sensor de la barra de retroalimentación mide continuamente la posición del anillo de alimentación de paso y lo compara con la señal de paso demandada. Si ocurre cualquier desviación, una válvula proporcional es accionada. Como consecuencia aceite de alta presión es comunicada a uno u otro lado del pistón servo, vía el anillo de distribución de aceite, hasta que se logre el paso de la hélice deseado.

El eje propulsor lo componen dos ejes intermediarios y un eje de cola con dos descansos intermediarios y una prensa pasa mampara entre la sala de máquinas y el túnel del eje. Los descansos son de metal blanco, auto lubricados. El tubo de codaste fue reemplazado y es lubricado con aceite.

3. Particularidades del diseño

Durante la fase de diseño se visualizaron aspectos particulares que requería esta aplicación, las que fueron planteadas y discutidas con el fabricante. Entre ellas se destacan las siguientes:

a. Nueva posición del motor

En primer término era necesario crear un espacio a proa del motor y en línea de cruja para la confección de una sala de Control de Máquinas. El motor debió desplazarse lo más a popa posible, considerando la restricción particular del navío, en donde los gases de la combustión del motor descargan por el interior del palo Mesana. Técnicos de MAN B&W propusieron instalar el silenciador en forma vertical, aprovechando el espacio del cubichete de acceso a la sala de máquinas. La novedad era que los gases debían ingresar por el extremo superior y bajar por el silenciador, contrario a la gravedad, para ingresar por la base del palo mesana. La máxima contrapresión registrada en la descarga de los turbo cargadores a máxima potencia llegó a 420 mm de columna de agua, siendo el límite establecido por el fabricante de 250 mm de H₂O. A la fecha no ha significado problemas operacionales al motor, manteniéndose un registro frecuente de los parámetros del motor.

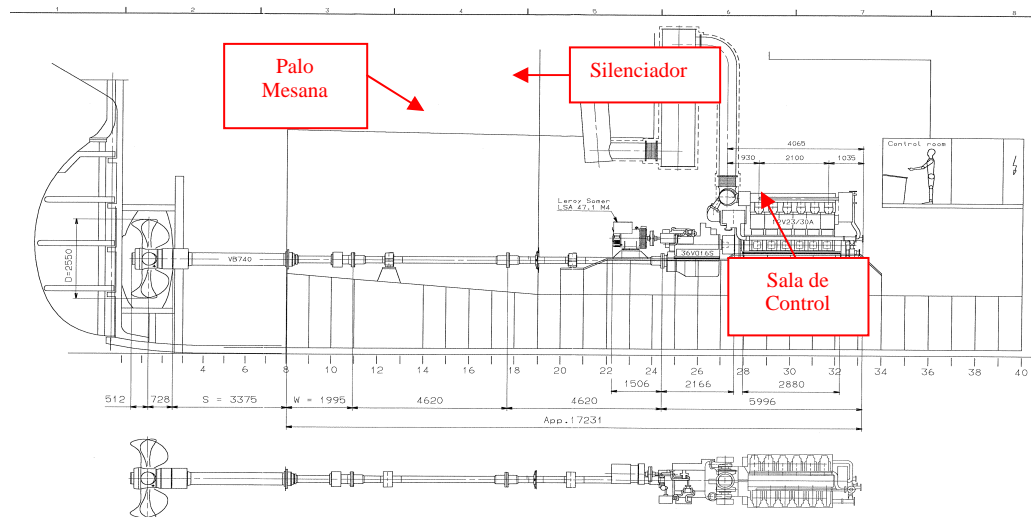


Figura Nº 1: Arreglo de la nueva Sala de Máquinas

El segundo factor considerado para localizar el motor lo más a popa posible, dice relación con la conveniencia de acortar al máximo la línea de ejes, considerando que el mecanismo de cambio de paso de la hélice se realiza mediante un eje interno al propulsor. MAN B&W recomienda que no sea superior a 17 metros, propósito disminuir los esfuerzos y resistencias para el accionamiento del paso de la hélice.

b. Retiro e ingreso de los motores.

El casco del navío está formado por planchas remachadas. Esta fue la razón que determinó conveniente no cortar el costado del casco para el retiro e ingreso de los motores y resto de componentes. Una fluida interacción con el departamento de diseño de MAN B&W Alpha Diesel, confirmó la posibilidad de ingresar el motor en forma vertical por el reducido espacio existente en el cubichete de la sala de máquinas. Detalles de la maniobra se indica en las gráficas adjuntas.

Vertical lift of Main Engine Type 12V23/30A

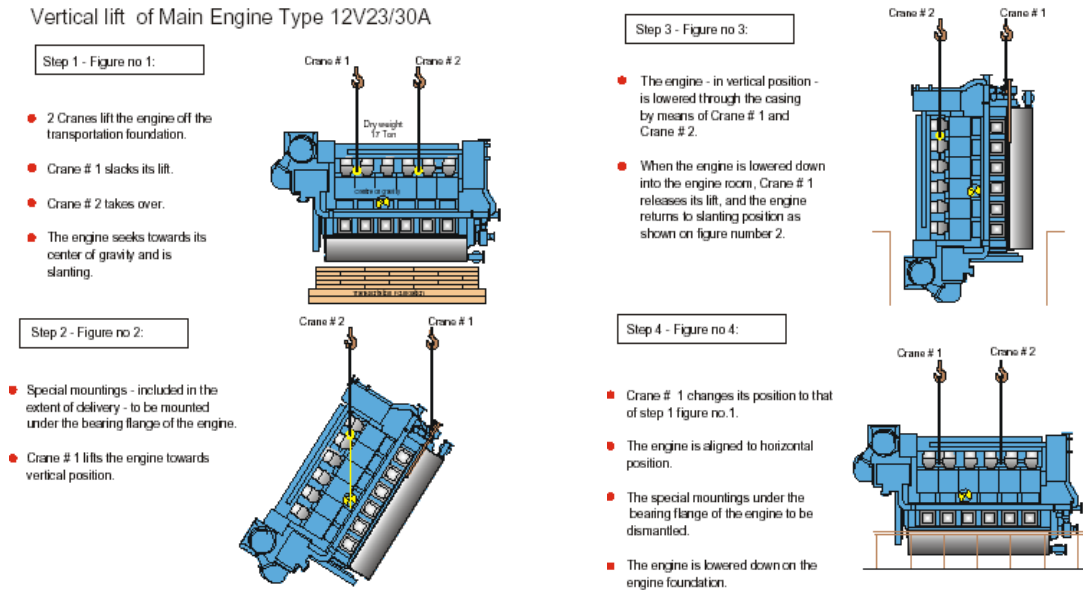


Figura N°2: Maniobra de retiro del motor

c. Fijación de la hélice tipo Feathering

El antiguo y tradicional diseño del codaste del navío están conformados por el codaste popel y proel, componentes de acero forjado y fundido, en cuyo alojamiento o vano va ubicada la hélice propulsora. La decisión de instalar un sistema de hélice de paso controlable y particularmente de tipo feathering, significó un particular esfuerzo de estudios y diseño de MAN B&W, que son interesantes de analizar.

Los ejes propulsores de hélice de paso controlable y reversible terminan en lo general en un machón que es parte solidaria del eje, el cual se fija mediante pernos al núcleo de la hélice. Es por ello que por lo general se instalan los mencionados ejes propulsores desde popa hacia proa del tubo de codaste. En el caso particular del navío fue necesario considerar un diseño especial del sistema de fijación del núcleo de la hélice con el eje de cola, el cual considera la instalación de un acoplamiento con interferencia hidráulica en el extremo del núcleo de la hélice, con el propósito de permitir el retiro del eje de cola hacia proa sin la necesidad de cortar el codaste popel. El sistema de fijación anteriormente indicado es aprobado por Casa Clasificadora y se construye con un factor de seguridad de 3,5 veces el torque máximo.

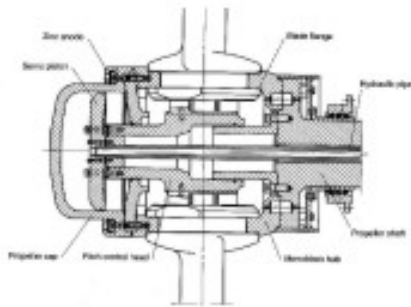


Figura N°3: Núcleo del eje

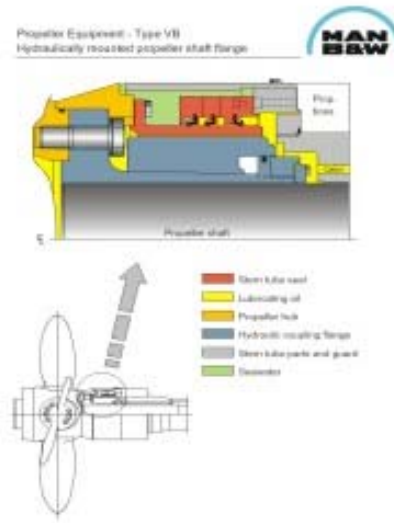


Figura N°4: Acoplamiento diseñado

E. PROBLEMAS ENFRENTADOS

1. Déficit de amortiguación

Durante las pruebas de mar se detectó una anomalía en el sistema de control de paso en ambos modos de operación, combinado y separado, siendo más pronunciado en modo separado al producirse una incapacidad del sistema para aumentar en forma normal el paso sobre 800 RPM del motor. Tal condición se debía a que el sistema hidráulico no era capaz de controlar en forma gradual el paso de la hélice, dado que la amortiguación en el núcleo de la hélice era insuficiente. Esto producía un movimiento brusco de la barra de control de paso hacia popa, aumentando rápidamente la carga avante, causando la sobre carga del motor.

De acuerdo a lo analizado por el fabricante los orificios existentes entre ambas caras del dado de la hélice y que de acuerdo a éste debieron haber sido taponados durante la etapa de instalación por parte de sus técnicos, sería el causal de la igualación acelerada de presión en ambos extremos no permitiendo una correcta amortiguación del movimiento longitudinal de la barra de control. Debido a lo anterior se procedió a tapar seis de los ocho orificios que tiene el cilindro y para lograr un movimiento gradual y más controlado y así darle tiempo al sistema de control del motor para que reaccione a los cambios de carga.

2. Alta resistencia para accionar mecanismo cambio de paso

Avanzado el período de prueba el problema persistía, estimando los diseñadores que el problema estaba circunscrito a que el diseño especial de hélice con la capacidad "feathering" introducía una excesiva resistencia en la actuación del sistema. Cabe hacer presente que para lograr el movimiento angular desde la posición feathering a máximo atrás es de 105° a 110°. Para lograr este enorme desplazamiento angular de las palas, el diseñador puede intervenir en la trayectoria rectilínea del pistón, ubicada dentro de la rueda principal de la caja de engranajes y de la posición del bulón con respecto al centro de giro. En la medida que la distancia del bulón es mayor, la resistencias impuestas al sistema de paso controlable se incrementan.

La resistencia que debe vencer el mecanismo de control de paso, depende tanto de los coeficientes de fricción estática entre el dado y los flanges de la hélice. Adicionalmente los esfuerzos dinámicos se incrementan, en la medida que se aumente la velocidad del propulsor y en la medida que se incremente el ángulo de paso.

Para disminuir la resistencia impuesta al sistema, MAN B&W propuso dos acciones a realizar. En primer término cortar las palas en 100 mm en su radio para disminuir el área efectiva de pala.

Con el propósito de disminuir el roce de los dados y la superficie de deslizamiento de trabajo de los flanges, se recibieron instrucciones del fabricante para fosfatizar dicha superficie en los cuatro franjes (empavonado). El fosfatado en base a manganeso tiene la particularidad de mantener una película de lubricante en las condiciones de lubricación límite. Con respecto a la zona de roce del núcleo se pulió levemente para eliminar las aristas y lograr una mejor superficie de contacto.

3. Falla bomba de lubricación

Finalizados los trabajos mencionados, se efectuaron las pruebas correspondientes, obteniéndose una mejor respuesta del sistema de control, ante aumentos de carga graduales en modo combinado; sin embargo, en modo separado el sistema no respondió satisfactoriamente ante escalones de carga de 900 rpm, lo que imposibilita a la planta propulsora a operar con generador de cola. Analizado lo anterior se pudo detectar una pérdida de capacidad de la bomba de lubricación arrastrada de la caja de reducción, la que fue inspeccionada encontrándose dañados sus engranajes.

Al destaparla completa ésta se encuentra agripada, engranajes con dientes que presentan desgarros y desprendimiento de metales en los dientes, el engranaje conductor con disminución de diámetro por desgarramiento y desprendimiento de metales en toda su periferia, los bujes del conducido y el conductor con desprendimiento de metales en toda la zona de contacto, caja con desgarros profundos en la zona de contacto y succión.

El problema fue finalmente resuelto, reemplazando la bomba. MAN B&W sugirió reemplazar la original bomba de 240 lt/min. por otra de 300 lts/min, para aumentar la capacidad y asegurar la potencia hidráulica requerida para el accionamiento del sistema. El sistema fue sometido a cambios de 100 % de carga reaccionado sin dificultades.

F. RESULTADO OPERACIONAL

1. Tiempo de operación y distribución de carga: (Crucero de Instrucción 2001)

Durante el primer año de operación del nuevo sistema de propulsión, la totalidad de horas de uso del motor propulsor fue de 2656 hrs. en su modalidad mixta y motor solo. El gráfico N°1 muestra la distribución de horas de operación del motor principal a diferentes rangos de carga y velocidad. Cabe destacar el alto número de horas entre 40% y 50% de carga se debe principalmente a que corresponde a la velocidad promedio de operación planificada para este Crucero de Instrucción (SOA), siendo

obviamente perjudicial para el motor propulsor.

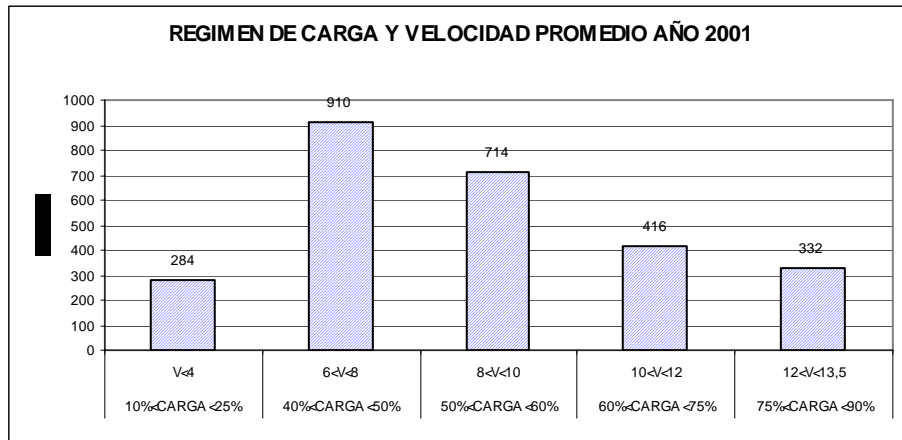


Gráfico N°1

El Gráfico N° 2 compara la distribución de carga porcentual entre los valores proyectados durante la evaluación del proyecto y lo real acaecido durante el primer año de operación. De este se desprende la alta tasa de empleo bajo el 60% de carga. Sin embargo, esta situación se estima factible de revertir, mediante el empleo del generador de cola, en aquellas instancias en que el SOA sea bajo.

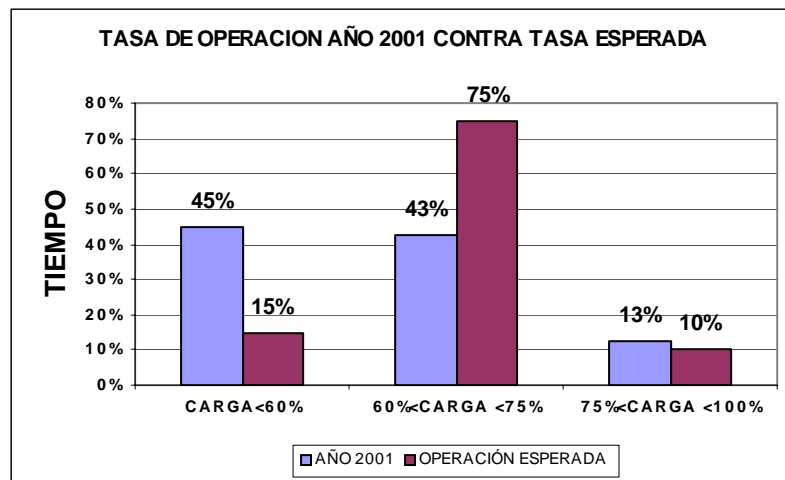


Gráfico N° 2

Lo anterior sugiere la necesidad de incrementar los S.O.A. establecidos entre las distintas singladuras programadas. Adicionalmente se determinó que por factores de incremento de la potencia eléctrica consumida, el empleo del generador de cola fue reducido durante este primer año operacional.

2. Velocidad:

Estándares esperados:

Velocidad de avance de 8 nudos con 35 nudos de viento por la proa.

Velocidad de avance de 12 nudos con viento calma.

Estándares logrados:

Velocidad de avance de 10 nudos con 35 nudos de viento por la proa.

Velocidad de avance de 14 nudos con viento calma.

Navegación a vela con hélice en posición feathering:

Un factor comparativo que demuestra las bondades de la hélice full-feathering, quedó evidenciado que en condiciones favorables de viento con el aparejo de maniobra cazado y con viento relativo de 100° a 130° desde la proa, el navío en promedio desarrollaba con el antiguo propulsor girando en bandera en torno al 40% del viento relativo.

Con la nueva hélice en su posición full-feathering, trincada en la posición central, el navío desarrolló aproximadamente en torno al 50-60% del viento relativo, vale decir hubo un aumento del 10 – 20 % de velocidad.

3. Maniobrabilidad

La respuesta en su modalidad operacional a motor, mixto y a vela mejoró con la nueva instalación. Se eliminó completamente la seria limitación operativa, que restringía la capacidad de dar atrás hasta no haber disminuido la velocidad del eje a 40 rpm.

4. Nivel de ruido

La hélice tipo skew demostró en forma efectiva la atenuación en los niveles de ruido, particularmente en la Cámara del Comandante.

5. Dotación

La mayor automatización permitió reducir en 2 operadores la dotación de personas integrantes del departamento de ingeniería de la unidad.

6. Flexibilidad

El generador de cola le otorga una fuente adicional de poder eléctrico y permite distribuir en mejor forma la demanda de generación. Sin embargo se estima que no fue plenamente explotada esta capacidad durante el primer año de operación.

G. CONCLUSIONES

1. Este proyecto permitió superar las limitaciones operativas de la Unidad, otorgándole mayor flexibilidad, velocidad, empuje y seguridad a la Planta propulsora.
2. La remotorización del navío, constituye un ejemplo donde se funden tecnología de antaño que es modernizada con sistemas tecnológicos de actualidad, permitiendo con ello proyectar a futuro la vida útil de este hermoso navío.
3. El trabajo de equipo entre los departamentos de diseño de MAN B&W Diesel Alpha,

los astilleros de la Armada de Chile y la Dirección Técnica, permitió llevar a buen término el proyecto en los plazos asignados.

**LUIS NIEMANN FIGARI
CAPITAN DE FRAGATA
JEFE PROYECTO**