

EXTENSION DE VIDA UTIL DE LA LST CHACABUCO

1) Introducción

La LST CHACABUCO fue construida el año 1987 en los Astilleros y Maestranzas de la Armada ASMAR en Talcahuano, Chile. Es de la clase BATRAL de origen francés, de las cuales hay dos unidades en servicio en la Armada de Chile, habiéndose desempeñado como buque de transporte anfibio y de carga general. El año 2002, y debido a la baja confiabilidad y al deterioro que presentaba por el alto grado de actividad que había tenido, la Armada de Chile determinó efectuarle un periodo de reparaciones que considerara extenderles su vida útil en al menos 15 años a través de un proceso de remotorización y upgrade general de sus sistemas de Ingeniería. Debido a lo restringido y limitado del presupuesto disponible, se analizó desde el principio del proyecto la reutilización de motores existentes en la Institución, buscando una solución efectiva y de bajo costo. El presente trabajo efectuará un análisis descriptivo del proceso de este trabajo, desde el estudio de factibilidad hasta la implementación y la evaluación de los resultados obtenidos.



Figura Nº 1. LST Chacabuco



Figura Nº 2. LST Chacabuco

2) Diagnóstico de la Unidad

La LST CHACABUCO tiene las siguientes características generales:

Eslora máxima: 79.13 mts
Eslora entre pp: 68.0 mts
Manga: 13.5 mts
Desplazamiento máximo: 1409 t

Puntal: 5.74 mts

Velocidad máxima: 16 nds

El sistema de propulsión consistía en 2 ejes independientes con hélices de paso controlable (KMW) de tres palas movidas por dos motores diesel SEMPT PIELSTICK Mod. 12-PA4-V185VG de 1800 Bhp a 1500 rpm a través de cajas de reducción directas (4.05:1), y un descanso intermedio de rodamientos. Los motores al igual que las cajas y líneas de ejes, eran controlados a través del sistema de control original de la unidad denominado PM 600.



Figura Nº 3. Sala de Control y PM600

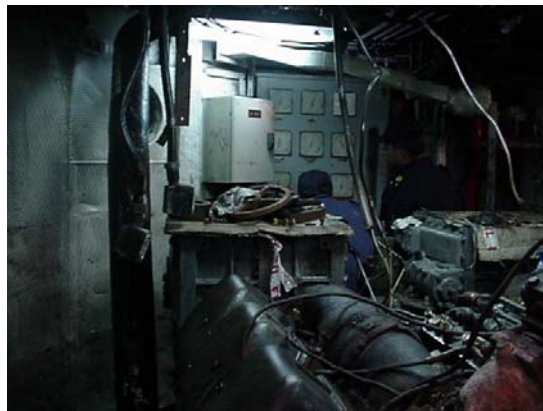


Figura Nº 4. Motores PIELSTICK

A la fecha de la definición del Proyecto, los motores principales instalados contaban con más de 31.000 hrs totales de operación, siendo el promedio anual de 2000 hrs. aproximadamente. Eran los únicos motores de esta marca en el parque de motores de la Armada de Chile, no existiendo representación ni servicio técnico en el país, debiendo importarse los repuestos a Francia con un alto retardo logístico. Además, el mantener los motores por 15 años más en la institución obligaría a efectuarles un rutina de Overhaul alrededor del año 2007, con un muy alto costo asociado.

El promedio de falla de los motores era alta; roturas de culatas y turbocargadores por fallas de válvulas de escape, fallas por rotura del eje cigüeñal en 1995 y en 1998 en dos unidades distintas. Además, inspecciones a los blocks evidenciaron una avanzada corrosión y cavitación en las galerías de agua. Los motores tenían una baja confiabilidad y eran

susceptibles a fallas que requerían reparaciones de un alto costo y que afectaban la disponibilidad de las unidades. No existían motores de espera y el parque de culatas y turbocargadores que existía hasta el año 2001 fue consumido en las fallas de las unidades en Enero de 2002. La velocidad máxima había disminuido de los 16 nds de diseño a 13,5 nds debido a problemas derivados de alta temperatura individual y excesiva temperatura diferencial en cilindros en los motores. El costo de operación había aumentado debido al mayor el consumo de lubricante y petróleo.

El resto del Sistema de propulsión estaba en buen estado. Las últimas inspecciones indicaron resultados satisfactorios en caja de engranajes, embriagues, descansos y líneas de ejes.

Con este diagnóstico, se decidió estudiar el reemplazo solo de los motores propulsores con sus respectivos acoplamientos flexibles, los periféricos asociados y el reemplazo del sistema de supervisión de la maquinaria.

Por otro lado los equipos de maquinaria auxiliar eran originales y no habían sido nunca reemplazados. En su mayoría presentaban alto desgaste y su reparación no era conveniente considerando costos y confiabilidad con respecto a un equipo nuevo. Se reemplazaron todas la bombas, se reingenierizó el sistema de calefacción del buque, se adecuó el sistema de ventilación y extracción de la máquina, se reemplazaron tableros y controladores eléctricos, se rehicieron ductos de ventilación y se confeccionaron una gran cantidad de circuitos de todo tipo, incluyendo el cambio de todas las válvulas del casco y de las válvulas más importantes.

La infraestructura de los espacios de máquinas y de la unidad en general se encontraban bastante deteriorados. El proyecto definió que se debería considerar el reacondicionamiento de los espacios de máquinas y en forma paralela se debería mejorar la infraestructura general de la unidad.

3) Análisis de factibilidad técnica y trabajos efectuados

3.1) Motores principales: Para reemplazar los motores se analizó la reutilización de dos motores que eran de la LSG QUIDORA que se había dado de baja de la Institución el año 2001. Esta unidad fue remotorizada el año 1992 con motores CAT 3512 rateados bajo un

[1]

régimen de carga D . teniendo al momento de darse de baja 8540 horas de uso. Para

reutilizarlos requerían un mantenimiento de 9000 hrs. El mismo motor con un régimen de Media Carga [2] desarrolla 1360 Bhp a 1.600 rpm, de acuerdo a su diagrama de carga (Figura N° 5). Del parque de motores de la Armada de Chile los CAT tienen un 31% del total, con 22 motores de la serie 3512. El retardo logístico es mínimo, gracias a la extensa red de servicio técnico en el país del representante existiendo un amplio mercado de repuestos sustitutos.

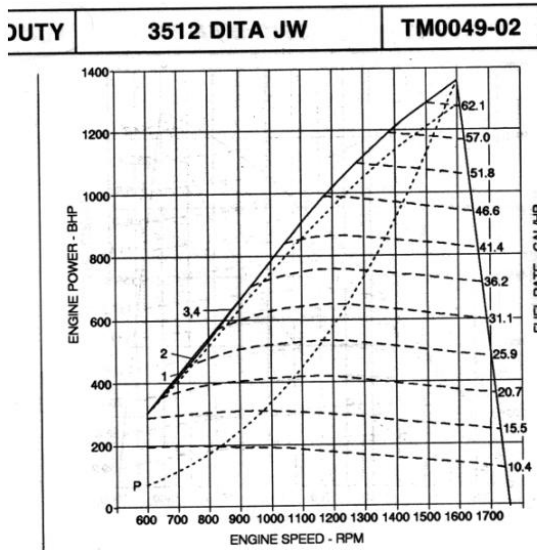


Figura N° 5. Régimen de carga “B” para motores CATERPILLAR

3.1.1.- Efecto del cambio de motores: Debido a que los nuevos motores tenían 440 hp menos que los originales, fue necesario analizar el

efecto del cambio de motores sobre la performance de la unidad. La

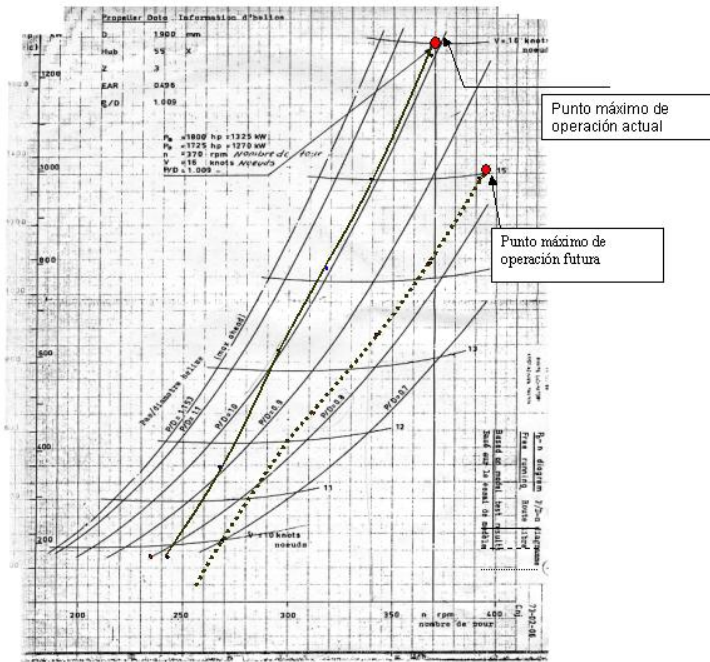
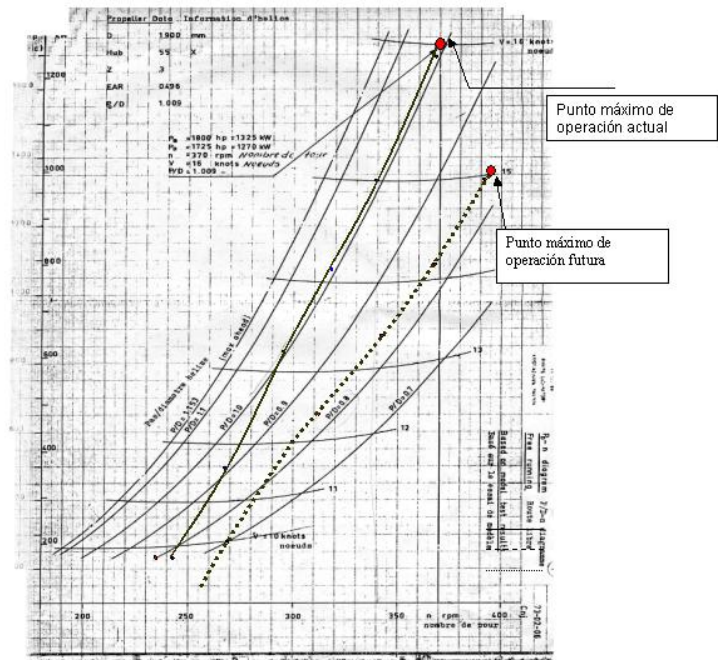


Figura N° 6 muestra las curvas de Potencia v/s Velocidad del eje para la hélice de la LST BATRAL. La curva sólida representa las condiciones actuales de máximo rendimiento de la hélice. De ella se determina que la máxima velocidad de diseño de 16 nudos se logra con una potencia al freno P_b de 1800 Bhp, 370 rpm del eje (1500 en el motor) y una relación P/D de 1,009.

Para el perfil de operación al cual sería rateado el motor CAT 3512 (1360 hp @ 1600 rpm), la velocidad del eje (con la misma caja de reducción), sería de 395 rpm. Bajo estas nuevas



condiciones, se deduce de la Figura N° 6 que la unidad sería capaz de desarrollar 15.1 nudos con una relación P/D de

0,835, siendo la línea punteada la curva de mayor eficiencia de acuerdo al fabricante (Figura N° 5). La remotorización disminuiría 1 nudo la velocidad máxima de las LST BATRAL.

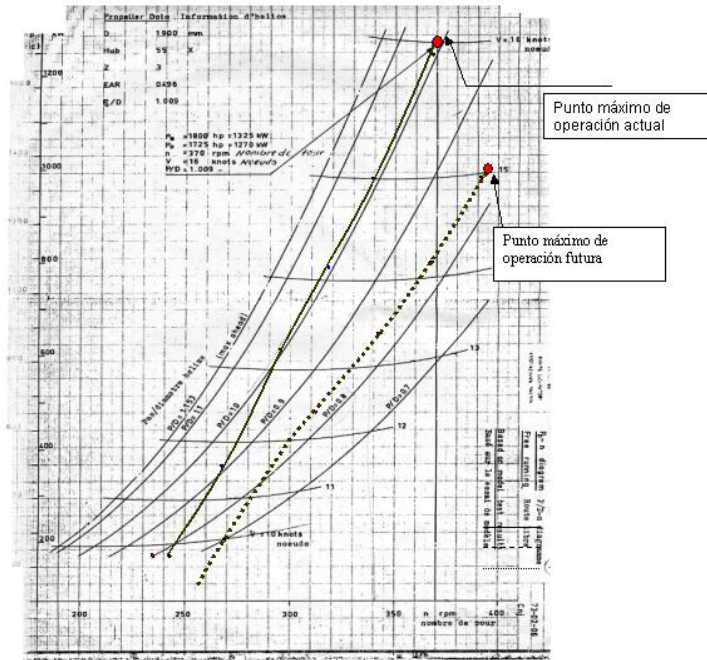


Figura N° 6. Curvas de operación actual y futura de la unidad

3.1.2.- Análisis de Cavitación: Para analizar el efecto de la variación de la potencia y de la velocidad en el propulsor, se comparó su cavitación antes y después de la modificación. La cavitación en la hélice está dada por el número de cavitación $\sigma_{0.7}$ en una posición 0.7 veces el ^[3] radio de la pala y el coeficiente τ_c que indica la carga media de empuje sobre la pala. Estos pueden ser ploteados en un gráfico de Burril (**Figura N° 7**). Del gráfico se puede determinar que el arreglo original presentaba una alta cavitación, lo que ha sido corroborado por mediciones de vibraciones efectuadas abordo. El nuevo arreglo propulsivo tendrá una menor cavitación⁵.

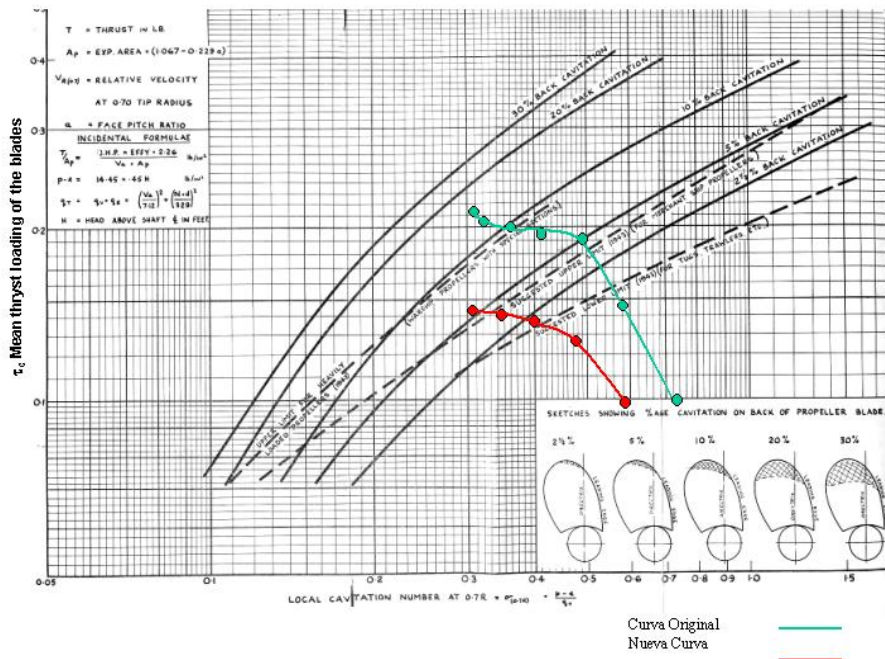


Figura N° 7. Diagrama de Burrill con cavitación de arreglo propulsivo

3.1.3.- Análisis Dimensional: El análisis dimensional en los planos de arreglo de la maquinaria, determinó que no existían problemas de espacio para los nuevos motores. Se deberían efectuar modificaciones a las bases de los motores y la mayoría de los circuitos asociados.

3.1.4.- Análisis de vibraciones torsionales: Al cambiar el motor propulsor también se debería cambiar su acoplamiento flexible. Se seleccionó un equipo ZF y FINNING Chile hizo el estudio correspondiente al sistema de propulsión, indicando que no existían impedimentos para que se adoptara la configuración seleccionada.

3.2.- Caja de Engranajes: Al mantenerse la caja de engranajes instalada, se analizó el efecto que tendría el aumento de velocidad del motor combinado con la disminución de la potencia. De acuerdo a los cálculos efectuados, se determinó que para efecto de cargas aplicadas, el aumento de velocidad en la caja es compensado con la disminución de potencia. El resultado del cambio de los motores es una disminución de un 29.2% de la carga estática y de un

[4]

11.2% de la carga dinámica aplicada sobre los dientes de los engranajes.

3.3.- Línea de ejes: Se analizó si los componentes de la línea de ejes que se mantendrían, podían operar con la nueva configuración de motores. La medida requerida de diámetro del

eje es proporcional a la raíz cúbica del cociente entre la Potencia del motor *SHP* en CV y la Velocidad *n* en RPM de acuerdo a la relación [5]:

$$d \approx \left(\frac{SHP}{n} \right)^{\frac{1}{3}} [m] \quad (1)$$

Al ser *d* menor para la configuración con el motor CAT, el valor requerido es menor para el arreglo propulsivo a instalar, pudiéndose mantener los ejes originales. De la misma forma los esfuerzos torsionales también serán menores con el nuevo arreglo propulsivo ya que su valor es directamente proporcional a la Potencia e inversamente proporcional a la Velocidad

Angular del eje acuerdo a la relación [6]

$$\tau = \frac{SHP \cdot d}{\omega \cdot I_p} [kgf / cm^2] \quad (2)$$

donde ω la velocidad angular del eje, *d* es el diámetro del eje, e I_p el momento polar de inercia del eje (los dos últimos constantes en este caso).

3.4.- Sistema de Control de la Planta Propulsora: El sistema original proveía de control y supervisión sobre todo el sistema de propulsión. Al desmontarlo se efectuó una reingeniería que integró las señales del motor CAT que posee su propio sistema de control, con las instalaciones antiguas de caja y líneas de ejes. Se definió un sistema redundante y se mantuvo las alarmas y señales originales y se incorporó la mayor cantidad de señales posible. Debido al corto tiempo para ejecutar el trabajo, se mantuvo el control del propulsor y el motor a través de señales neumáticas, incorporándolas además al sistema de supervisión.

3.5.- Infraestructura: Se reacondicionó la sala de control, se reemplazó el panel por un mesón que incorporó el sistema de control, se instalaron ventanas, se reemplazaron las puertas existentes y se instaló una planta de Aire Acondicionado. Se cambió y aumentó el alumbrado de la Sala de Máquinas, se cambiaron los pisos y planchas de la máquina, se recuperó la pintura de toda la sentina y estructura y se aprovechó la liberación de espacio producto del cambio de motores para reubicar parte del equipamiento de la Sala de Maquinas para permitir un mejor acceso a la maquinaria.

4) Ejecución de los trabajos

Se iniciaron el 01 de Agosto y finalizaron el 16 de Diciembre de 2002. La unidad entró a dique para retirar los motores principales y la maquinaria a reemplazar. Se rehicieron las bases de los motores y se modificaron los circuitos asociados, lo que resultó de una magnitud bastante mayor a lo presupuestado inicialmente debido a que el diseño original de los circuitos no permitía modificaciones parciales. Al ser la mayoría de las cañerías sin flanges intermedios, el desplazarlas unos centímetros obligaba a una modificar todo el circuito. Se incorporaron enfriadores de placa Alfa Laval a los motores, mejorando su tiempo entre mantenimiento y vida útil. Se reemplazó las bombas de la unidad, el purificador de F.O., se eliminó la caldera y se instaló calefacción eléctrica, se desplazaron las botellas de aire para dar mayor amplitud y visión a la sala de control, se reemplazaron todos los pisos y se reemplazaron tableros eléctricos y controladores (todo mostrado en las Figura N° 8 y Figura N° 9)

El circuito de ventilación se modificó casi en su totalidad. Los motores PIELSTICK aspiraban a través de ductos desde el exterior, y los CAT son de aspiración natural.

Se efectuó un cálculo de flujos requeridos, y se instalaron ventiladores de mayor potencia y se agregó un tercer extractor. Para regular el flujo de aire al departamento, se incorporaron al PLC sensores diferenciales de presión en la máquina y la sala de control, controlando con variadores de frecuencia la velocidad de los ventiladores y extractores para lograr una presión



ecualizada.



Figura N° 8. Vista de la sala de máquinas **Figura N° 9. Vista de la sala de máquinas**

En la sala de control, el panel del PM600 se reemplazó con un mesón que incorporó el display LCD del PC conectado al PLC del sistema de supervisión (Figura N° 10 y Figura N° 11). Este controla los parámetros de motores, cajas, líneas de ejes, circuitos auxiliares, estado de la maquinaria y alarmas. Se incorporó una pantalla conectada al PLC, selectores de posición de diferentes equipos que no fueron incorporados al sistema de supervisión y partidas y paradas remotas de motores. Se aisló la sala acústicamente y se reubicaron tableros y bandejas de cables.

1) Costos

Al final del proceso de recuperación, los trabajos efectuados tuvieron un costo total de US\$ 800.000, incluyendo todas las actividades realizadas, adquisición de equipos, recuperación de equipos, repuestos, trabajos en astillero, pruebas y recuperación de espacios de máquinas.



Figura N° 10. Sala de Control final



Figura N° 11. Sala de control final

2) Evaluación de resultados obtenidos

Las pruebas finales efectuadas a la unidad, determinaron que la unidad había quedado repotenciada, alcanzando capacidades similares a las de diseño. Logró desarrollar una velocidad máxima de 15.2 nudos con máximo desplazamiento. Se elevó su confiabilidad y disponibilidad, se redujeron costos de mantenimiento y reparaciones de emergencia, se logró una disminución del consumo de combustible del 34% para similares condiciones de operación, lo que representa un ahorro de alrededor de US\$ 80.000.- anuales, y un ahorro del 45% en lubricante, equivalente a US\$ 10.000.- anuales considerando un uso de los motores de 2000 hrs de funcionamiento. De esta forma, y considerando la inversión realizada, el proyecto se habrá financiado durante la vida útil restante de la unidad.

3) Conclusiones

- La disponibilidad de la unidad ha sido de un 100% durante los 07 meses de operación desde el término de los trabajos, no habiendo tenido fallas ni problemas. Los sistemas incorporados son robustos y confiables y se espera tengan un bajo índice de fallas y una muy alta confiabilidad.
- La tecnología incorporada a la unidad es un adelanto tecnológico, especialmente por la incorporación del sistema de supervisión basado en un PLC y con la instalación de enfriadores de placa de titanio en los motores principales. Esto incrementará los

conocimientos del personal y los incentivaré a perfeccionarse.

- El reacondicionamiento y reemplazo de la maquinaria auxiliar simplificará la labor del personal y le dará la confiabilidad necesaria a la unidad para 15 años más.
- El reacondicionamiento de la infraestructura, le da a la unidad un aspecto remozado y más moderno. Mejora las condiciones de vida y trabajo de la dotación e implementa una adecuada interacción hombre-máquina al tener contacto visual con la Sala de Máquinas.
- El trabajo efectuado ha dejado una vez más en evidencia la capacidad de los astilleros de ASMAR para ejecutar trabajos de envergadura, y de la Armada para efectuar una acertada planificación y análisis de ellos.

[1]

Régimen de carga “D”: Para patrulla, policía y embarcaciones contra incendio. 1750 bhp @ 1800 rpm. Máxima potencia limitado al 10% de su tiempo operacional. Empleo será menor a 2000 hrs. anuales.

[2]

Régimen de Carga “B”: Utilizado en unidades de pasajeros o carga, ferries con trayectos mayores a 1 hora, rumbos y tráficos demandan frecuentes desaceleraciones y la velocidad es constante con algunas fluctuaciones. Máxima potencia limitada al 80% del tiempo. Tasa de empleo prevista hasta 4000 horas anuales (promedio).

[3]

Principles of Naval Architecture, The Society of Naval Architects and Marine Engineers

[4]

Según criterio de Lewis. Engranajes y Poleas, Pezzano y Klein, Editorial Ateneo

[5]

Principles of Naval Architecture, The Society of Naval Architects and Marine Engineers

[6]

Principles of Naval Architecture, The Society of Naval Architects and Marine Engineers