



Universidad Austral de Chile

Escuela de Ingeniería Civil Industrial
Sede Puerto Montt

PROFESOR PATROCINANTE:
ING ALEX CISTERNA CASTILLO
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

PROPUESTA DE GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL MANTENIMIENTO PARA EL ALARGUE
DE LOS PERÍODOS ENTRE OVERHAUL DE LOS MOTORES CATERPILLAR DE LA SERIE 3300

Trabajo de Titulación
para optar
al título de Ingeniero Civil Industrial

DANILO RENÉ VARGAS MORALES

PUERTO MONTT – CHILE
2011

A mis padres Victor y Tita, parte de este trabajo y carrera lo han construido ustedes, que difícil es escoger entre tantos momentos hermosos que hemos vivido, los amo profundamente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por todos estos años de esfuerzo que hoy se ven recompensados a través de este trabajo de titulación.

Agradezco a mis pastores Jairo y Verónica Quinteros, por animarme desde el inicio a estudiar y trabajar en la Viña, cada una de sus enseñanzas las atesoro en mi corazón y las practico en mi diario caminar, les amo profundamente.

Agradezco a la Armada de Chile, al Teniente Francisco Mayorga por proporcionar información relevante, visitas a bordo y en terreno, para la confección de la presente investigación.

Agradezco a personal de Finning S.A. representante de Caterpillar en Chile, particularmente a los excelentes profesionales Fernando Arteaga y Jorge Antiman por la paciencia en explicarme cada pregunta y las visitas a terreno coordinadas, las innumerables entrevistas, gracias por su apoyo.

Al profesor Alex Cisterna, primero por el tiempo dedicado a la revisión del presente trabajo y también su calidad tanto en lo profesional como persona, sinceramente le agradezco.

Agradezco a Carmen Leiva y Cristian Vargas, distinguidos funcionarios de la Universidad quienes me ayudaron en la impresión y compaginación de la presente investigación.

Agradezco a Lena Miller, mi amada novia, quien me motivó siempre a terminar esta etapa tan importante en mi vida.

RESUMEN

El presente estudio se desarrolla en La Armada de Chile, institución con una historia llena de glorias, que emerge como una de las más modernas dentro de las divisiones castrenses del continente, presente en todo lugar donde ejercer soberanía marítima es prioridad, ofreciendo a cada ciudadano chileno seguridad marítima y resguardo naval.

Durante el presente año, Jefe de Programa de Maniobras del Departamento de Ingeniería de Sistemas Navales de la Armada de Chile Teniente Francisco Mayorga, invita a participar al estudiante de una visita en terreno a las instalaciones de las maquinarias del barco BRS-63 Ingeniero Slight, comenta los análisis técnicos y la posibilidad de mejora del sistema de mantenimiento de los motores Caterpillar Serie 3300.

Uno de los cuestionamientos que mayormente inquietaban era la posibilidad de la extensión de los ciclos de mantenimiento mayor de las maquinarias antes mencionadas, los costos asociados que conllevan el actual plan de mantenimiento y si existe la posibilidad de realizar un estudio de dicha situación.

El cuestionamiento también pasaba por las competencias para realizar el estudio, sin embargo, al leer al autor Jay Heizer comentar que uno de los aspectos mas relevantes, pero olvidados por la ingeniería industrial en la gestión de operaciones es el mantenimiento, y fue suficiente motivación para emprender la investigación.

Este informe entrega en primera instancia un diagnóstico de la situación actual de dicha situación, considerando las variables técnicas como económicas que se encuentran relacionadas.

Una vez que se analizaron los datos obtenidos se entrega una propuesta de extensión de ciclos de mantenimiento mayor al actual plan de mantenimiento, considerando las variables tanto técnicas como económicas.

Se analizaron los costos implicados en la propuesta y su comparación con el actual modelo de mantenimiento, utilizando herramientas de la ingeniería económica.

Finalmente se desarrolló una propuesta al plan de mantenimiento actual basado en la metodología RCM, el cuál otorga claridad y una alternativa real para el desarrollo del mantenimiento de las maquinarias Caterpillar Serie 3300.

ÍNDICE

Página	
PORTADA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ÍNDICE	v
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Introducción	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo General	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Descripción de la Institución	2
1.3.1. Descripción General	2
1.3.2. Misión de la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales	3
1.3.3. Orgánica	3
1.4. Planteamiento del Problema	4
1.5. Origen Del Tema	4
1.6. Justificación	4
1.7. Alcance y Limitaciones	5
2. MARCO TEÓRICO	
2.1. Gestión de la Producción para el Mantenimiento	6
2.2. Estrategia del Mantenimiento	6
2.2.1. Importancia Estratégica del Mantenimiento y Fiabilidad	6
2.2.2. Mantenimiento	7
2.2.3. Patrones de Falla	7
2.3. Antecedentes Generales del Equipo	10
2.4. Antecedentes Específicos del Equipo	11
2.4.1. Sistema de Enfriamiento	11
2.4.2. Sistema de Lubricación	12
2.4.3. Sistema de Admisión y Escape de Aire	14
2.4.4. Sistema de Combustible	16
2.4.5. Especificaciones Técnicas Motor Caterpillar Serie 3300	18

2.5.	Herramientas De la Gestión de la Producción del Mantenimiento	20
2.5.1	Mantenimiento Productivo Total	20
2.5.2.	Seis Sigma	20
2.5.3.	Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	20
2.6.	Técnicas de Análisis de los Motores	22
2.6.1.	Análisis de Aceite	22
2.6.2.	Tipos de Análisis de Aceite	22
2.6.3.	Análisis Infrarrojo Diferencial	24
2.6.4.	Análisis de Espectrofotometría de Absorción Atómica	25
2.6.5.	Análisis AT1 - AT2	26
2.6.7.	Corte Filtros e Inspección de Tapones	29
2.7.	Análisis Valor Actual Neto	30
2.7.1.	Comparación en Valor Presente de Alternativas con Vidas Diferentes	31
2.8.	Análisis FODA	31
2.8.1.	Análisis Interno	32
2.8.2.	Análisis Externo	32
2.9.	Análisis Estadístico	32
2.9.1.	Definición de Correlación Lineal	32
2.9.2.	Características del Concepto Regresión Lineal	34
3.	METODOLOGÍA	
3.1.	Metodología de Trabajo	36
3.2.	Esquema de Trabajo	38
4.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	
4.1.	Análisis FODA	39
4.2.	Análisis Técnico del Equipo	40
4.3.	Niveles de Uso de Mantenimiento en Armada de Chile	42
4.4.	Descripción del Actual Plan de Mantenimiento	42
4.4.1.	Reacondicionar Bomba de Agua Dulce y Auxiliar Salada del Motor	42
4.4.2.	Reacondicionar Turbo Cargador	44
4.4.3.	Reacondicionar Motor Diesel	44
4.5.	Servicio Actual	46
4.6.	Costos Actuales Asociados al Mantenimiento	46
4.7.	Mercado de Servicios de Mantenimiento	49
4.7.1.	Oferta de Servicios de Mantenimiento	49
4.7.2.	Demanda de Servicios de Mantenimiento	49

5.	RESULTADOS	
5.1.	Metodología RCM	50
5.1.1	Hoja de Información	50
5.1.2.	Hoja de Decisión	51
5.1.3.	Plan de Mantenimiento	54
5.2.	Propuesta de Extensión de Ciclos de Overhaul	57
5.3.	Mantenimiento Predictivo Propuesto	58
5.4.	Frecuencia de Inspecciones	59
5.5.	Evaluación de la Propuesta	60
5.5.1.	Impactos de la Propuesta	60
5.5.2.	Estructura de Costos de la Propuesta	61
5.5.3.	Evaluación Económica de la Propuesta de Mejora	61
5.5.4.	Indicadores Utilizados en la Evaluación Económica de la Propuesta	63
5.5.5.	Ahorro	64
5.6.	Repercusiones en los Costos del Mantenimiento de Nivel 3	67
6.	CONCLUSIONES	68
7.	RECOMENDACIONES	69
8.	BIBLIOGRAFÍA	70
9.	LINKOGRAFÍA	71
10.	ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

		Página
Tabla 2.1	Especificaciones Motor del Motor Caterpillar 3304B	18
Tabla 2.2	Ajuste de la Luz de las Válvulas del Motor Caterpillar 3304B	19
Tabla 2.3	Especificación Técnica del Motor Caterpillar 3306B	19
Tabla 2.4	Ajuste de la Luz de las Válvulas del Motor Caterpillar 3306B	19
Tabla 2.5	Ensayo Físico-Químicos	24
Tabla 2.6	Análisis Infrarrojo Diferencial	25
Tabla 2.7	Análisis de Espectrofotometría de Absorción Atómica	25
Tabla 4.1	Reacondicionamiento de la Bomba de Agua Dulce y Auxiliar Salada	43
Tabla 4.2	Reacondicionamiento del Turbo Cargador	44
Tabla 4.3	Reacondicionamiento del Motor a 10.000 horas de operación	45
Tabla 4.4	Resumen de Costos de Overhaul Situación Base	48
Tabla 5.1	Rutinas de Mantenimiento del Sistema de Lubricación y Enfriamiento	55
Tabla 5.2	Rutinas de Mantenimiento del Sistema de Admisión, Escape y Combustible	56
Tabla 5.3	Resumen Inspecciones	59
Tabla 5.4	Resumen de Costos de Overhaul con la aplicación de la Propuesta	61
Tabla 5.5	Resumen de Costos para Igual Vida Útil	62
Tabla 5.6	Resumen VAN Alternativas con Vidas Diferentes	63
Tabla 5.7	Comparación de VAN Horizonte de Planeación 16 años	63
Tabla 5.8	Resumen de Costos y Diferencias de Planes de Mantenimiento	64

Tabla 5.9	VAN de la Diferencia de Costos	66
Tabla 5.10	Ejercicio de Costos Reacondicionamiento Overhaul	67

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Organigrama Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales	3
Figura 2.1	Patrón A “Curva de la Bañera”	7
Figura 2.2	Patrón B: “El Concepto tradicional de Falla”	8
Figura 2.3	Patrón C: Incremento Constante en la Probabilidad Condicional de Falla	8
Figura 2.4	Patrón D: Rápido Incremento de la Probabilidad de Falla que se convierte luego en un nivel constante de Falla Aleatoria	8
Figura 2.5	Patrón E: Falla aleatoria. No existe relación alguna entre la falla del componente y su probabilidad de falla	8
Figura 2.6	Patrón F: La curva “J” (tradicional) invertida. Alta mortalidad infantil luego un nivel constante de falla aleatoria	8
Figura 2.7	Intervalo P-F	10
Figura 2.8	Sistema de Enfriamiento	12
Figura 2.9	Sistema de lubricación	14
Figura 2.10	Sistema de admisión y escape de aire	15
Figura 2.11	Sistema de Combustible	18
Figura 2.12	Punto de Medición de Presión de Aceite	26
Figura 2.13	Punto de Medición de Presión de Combustible	27
Figura 2.14	Punto de Medición de Presión de agua de mar	27
Figura 2.15	Punto de Medición de Presión de agua dulce	27
Figura 2.16	Punto de Medición de Presión de aire	28

Figura 2.17	Holgura de Cigüeñal	28
Figura 2.18	Holgura del Turbo	29
Figura 2.19	Formula Valor Actual Neto	30
Figura 2.20	Fórmula Correlación Lineal de Pearson r	33
Figura 2.21	Nube de Datos	33
Figura 2.22	Nube de Puntos y Recta de Mínimos Cuadrados	34
Figura 2.23	Ecuación de la Recta Mínimos Cuadrados	35
Figura 3.1	Esquema de Trabajo	38
Figura 4.1	Árbol Causa Efecto	41
Figura 4.2	Demanda Actual	46
Figura 5.1	Diagrama de Decisión	52
Figura 5.2	Diagrama de Decisión	53
Figura 5.3	Histograma de Mantenimiento	58
Figura 5.5	Comparación de Costos entre Igual Vida Útil	62
Figura 5.6	Resumen de Costos	66

ÍNDICE DE ANEXOS

		Página
ANEXO A	Hoja de Información: Análisis RCM II al Motor Caterpillar de la Serie 3300	73
ANEXO B	Hoja de Decisión: Análisis RCM II al Motor Caterpillar de la Serie 3300	77
ANEXO C	Análisis Técnico	79
ANEXO D	Presupuesto Estimativo (se excluye de la copia digital por petición de Finning S.A.)	84

GLOSARIO

ASMAR	: Astillero y Maestranza de la Armada.
AT	: Análisis Técnico.
INFOTEC	: Informe técnico.
L	: Litro.
NA	: Aspiración Natura.
PPM	: Partes por Millón.
RCM	: Mantenimiento centrado en confiabilidad.
SIMPLA	: Sistema de Mantenimiento Planificado.
T	: Turboalimentado.
TA	: Turboalimentado pos-enfriado
TBN	: Número Total Básico.
TPM	: Mantenimiento Productivo Total.
TPEF	: Tiempo Promedio Ente Fallas.
USS	: United State Ship.
OVERHAUL	: Mantenimiento Mayor.

B. SIMBOLOGÍAS

Cu	: Cobre.
cm	: Centímetro.
Cr	: Cromo.
C/B	: Costo/Beneficio.
US\$	: Dólar
Fe	: hierro.
Hr.	: Horas.
mm	: Milímetro.
Ni	: Niquel.
Pb	: Plomo.
pulg ³	: Pulgadas cúbicas
"	: Pulgadas.
%	: Porcentaje.
CLP	: Peso chileno.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico y el desarrollo de nuevas estrategias ha repercutido de manera dramática en la industria moderna. Ultimamente, la industria ha sido influenciada muy fuertemente por la electrónica, la automatización y las telecomunicaciones, lo cual demanda mayor preparación en las personas, tanto desde el punto de vista operativo como también del mantenimiento industrial.

La industria moderna exige explotar de manera eficiente los recursos, en particular de la maquinaria instalada lo cual incide en la actividad propia del mantenimiento industrial, esto obliga a los usuarios a implementar estrategias que mejoren la gestión de los recursos humanos y financieros. De acuerdo a lo señalado anteriormente, este trabajo estará dirigido al análisis del plan de mantenimiento de los 40 motores Caterpillar de la Serie de los 3.300, usados en la Armada de Chile, con el propósito de estudiar la factibilidad de extender el período entre Overhaul (Mantenimiento Mayor) realizado a estos motores de las 10.000 a las 12.000 horas de uso.

La extensión de los períodos entre mantenimiento de los motores, así como la reducción de los costos de operación, son acciones que merecen la pena ser estudiadas para mejorar la administración de los recursos de la Armada de Chile.

Dentro del proceso de estandarización, la Institución ha buscado establecer una línea logística basada en reducir la amplia gama de marcas y modelo de motores con que se cuenta, concentrando la adquisición de aquellas marcas con amplia presencia en el mercado nacional, respaldo a través de garantía y servicio técnico; de esta forma reducir los esfuerzos logísticos y de capacitación.

La Armada de Chile cuenta con 40 motores Caterpillar de la serie 3.300. El aumentar los períodos entre Overhaul puede llegar a reducir los costos de mantenimiento hasta en un 35 por ciento.

El estudio se efectuará utilizando las herramientas de la Ingeniería Industrial y mediante la revisión de los planes de mantenimiento, revisión de metodología de mantenimiento, se estudiará los manuales técnicos de los equipos, también se considerará técnicas de mantenimiento predictivo para establecer mediante el monitoreo por condición los Overhaul a ejecutar, se efectuará visitas a terreno para determinar el contexto operacional de los equipos en estudio, finalmente se efectuará una evaluación económica para determinar, de ser posible el alargue, los costos y beneficios de implementar esta modificación al mantenimiento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Generar una Propuesta de Gestión de la Producción del Mantenimiento para extender el período entre mantenimiento mayor (Overhaul), de los motores Caterpillar de la Serie 3.300.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Mejorar la Gestión de la Producción, en la mantención de los motores Caterpillar 3300, en la Dirección de Sistemas Navales.
- Mejorar la estructura de costo del sistema de mantenimiento.
- Proponer la implementación de técnicas de Mantenimiento Predictivo que permita monitorear la extensión de los períodos entre Overhaul.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA INSTITUCIÓN

1.3.1 Descripción General

La Armada de Chile, es una de las instituciones que forman parte de las Fuerzas Armadas de Chile. Se considera que fue en el gobierno del Capitán General Bernardo O'Higgins Riquelme, en 1817, cuando nació la Armada de Chile. Su misión principal es participar en la seguridad exterior y defensa militar del país, para lo cual efectúa acciones en tiempo de paz y en tiempo de guerra.

En tiempo de paz, entre otras actividades, contribuye al desarrollo del poderío marítimo de la nación para lo cual brinda seguridad a la navegación, vigila el territorio marítimo nacional y apoya la comunicación por mar con las zonas aisladas.

En tiempo de guerra debe desarrollar operaciones destinadas a que Chile pueda hacer libre uso del mar como vía de comunicación y debe negar este uso al enemigo. Debe apoyar el esfuerzo bélico de las otras ramas de las Fuerzas Armadas.

Se organiza mediante Zonas Navales o Cuarteles Navales, los cuales son Primera Zona Naval Valparaíso, Segunda Zona Naval Talcahuano, Tercera Zona Naval Punta Arenas, Cuarta Zona Naval Iquique, Quinta Zona Naval Puerto Montt. En dichas zonas concentra su infraestructura, posiciones de acuartelamiento, centros de formación y entrenamiento militar.

Actualmente cuenta con 25.000 efectivos y 3.000 efectivos de infantería de marina. Su presupuesto para el año 2011 fue de \$269.201.684 (miles de pesos chilenos).

La Armada de Chile dentro de su ámbito logístico cuenta con cinco Direcciones Técnicas cuya principal responsabilidad es: *“Asegurar la más alta disponibilidad, confiabilidad, y eficiencia operativa de los medios navales”*.

El Equipo sobre el cual se desarrollará el proyecto es de tuición de una de estas Direcciones Técnicas, la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales.

1.3.2. Misión de la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales

La misión de la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales de la Armada es:

Ejercer la autoridad Técnica Superior sobre el material de los sistemas de ingeniería naval, sistemas de armas, sistemas de mando y control, los equipos mecánicos, eléctricos y electrónicos que operan en las Unidades de la Armada y aquellos de las Reparticiones y Unidades Terrestres, cuya tuición le sea asignada específicamente por la Dirección General de los Servicios de la Armada, controlando este material durante todo su ciclo de vida, asesorar y apoyar técnicamente a los Mandos Operativos y Direcciones Técnicas en las áreas del desarrollo, mantenimiento y operación del material de los Sistemas Navales.

1.3.3. Orgánica

La Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales, para cumplir su misión está dirigida por un Contraalmirante que es el Director, la Subdirección la ejerce un Capitán de Navío, posteriormente está organizada por Jefes de Departamentos y Jefes de Proyectos, que tienen Ingenieros y técnicos a cargo.

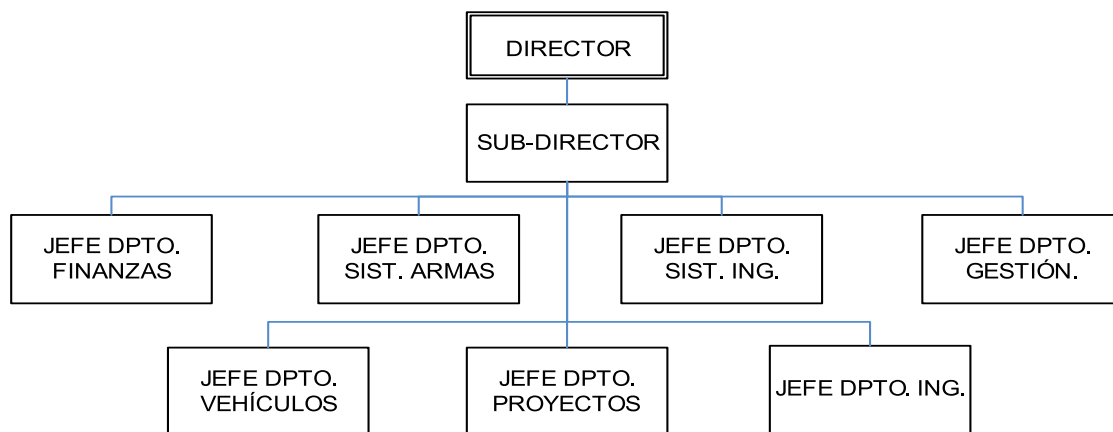


Figura 1.1. Organigrama Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales
Fuente: Elaboración propia

1.4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

De acuerdo a la realidad observada en la Armada de Chile específicamente en el Departamento de Sistemas Navales, se puede observar que existe un problema en cuanto al manejo de los mantenimientos mayores de los motores generadores Caterpillar 3300, por tanto esto plantea un gran desafío en términos de la aplicación de alguna herramienta que permita generar una posible solución a ésta pérdida de recursos. Esta situación permitirá aplicar alguna metodología que propenda a dar algún nivel de solución o generación de propuestas a esta problemática en particular. En la actualidad se manejan informes técnicos dados por Finning, representante en Chile de Caterpillar, y Asmar que señalan sobremantenimiento,

De lo anteriormente expuesto nacen las siguientes preguntas:

- ¿Es posible mejorar el plan de mantenimiento actual, ofreciendo confiabilidad y a su vez ahorro al Departamento de Sistemas Navales?
- ¿Es factible aplicar el modelo de mantenimiento predictivo con el equipamiento y personal técnico de la Armada?
- ¿Como están vinculadas la confiabilidad ofrecida por mantenimiento de catálogo del fabricante en contraste con los análisis técnicos registrados por Asmar y Finning S.A.?
- ¿Cuánto dinero se podría ahorrar aplicando la extensión de períodos de overhaul?
- ¿De que manera influye el modelo de mantenimiento en la estructura de costos del Departamento de Sistemas Navales?

1.5 ORIGEN DEL TEMA

Esta idea es sugerida por el Jefe de Programa de Maniobras del Departamento de Ingeniería de Sistemas Navales de la Armada de Chile Teniente Francisco Mayorga, con el fin de mejorar la gestión de mantenimiento de los motores Caterpillar 3300, observándose una oportunidad real de mejora en términos técnicos y económicos.

1.6 JUSTIFICACIÓN

La Armada de Chile dentro de su ámbito logístico cuenta con cinco direcciones técnicas cuya responsabilidad es “ Asegurar la mas alta disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa de los medios navales”.

Esta investigación se desarrollará en una de las direcciones técnicas, se observa la conveniencia de intervenir el plan de mantenimiento actual de los motores Caterpillar 3300, ya que se registran gastos considerables los cuales se han registrado. Dichos motores ya no cuentan con garantía y son inspeccionados por personal de Finning.

El hecho de intervenir en términos técnicos retorna como consecuencia un impacto económico.

Es un problema de ingeniería industrial debido a que involucra gestión de los recursos, evaluación de alternativas económicamente viables para finalmente tomar una decisión que traiga beneficios a la institución.

1.7 ALCANCE Y LIMITACIONES.

El estudio se focalizará en el análisis de la extensión de los períodos entre mantenimiento mayor de los motores Caterpillar 3300 pertenecientes a la Armada de Chile. Considerando el presupuesto ajustado asignado al mantenimiento se trabajará en base del posible ahorro que retorna el desarrollo del proyecto.

La problemática del análisis de reemplazo no será abordada, considerando los factores de vida útil restante del equipo actual (14 años), plan de mantenimiento por catálogo idéntico al del equipo actual y mayormente la inversión inicial, lo que significa económicamente reemplazar 40 unidades, no presenta mayor urgencia analizar un eventual reemplazo.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Gestión de la Producción para el Mantenimiento:

Se introduce el término Gestión de la Producción como las actividades asociadas a la generación de un bien o servicio final considerando el diseño, implementación, operación, fabricación, operarios, materiales, maquinarias y capitales comprometidos para dicho objetivo en armonía del tipo de producto o servicio a elaborar.

Dentro de las Diez Decisiones Estratégicas de la Dirección de Producción se tiene:

Diseño de Bienes y Servicios

Gestión de la Calidad

Estrategia de Procesos

Estrategia de Localización

Estrategia de Organización

Recursos Humanos

Gestión del Abastecimiento

Gestión del Inventario

Programación

Gestión del Mantenimiento

(HEIZER 2007)

2.2. Estrategia del Mantenimiento

2.2.1 Importancia Estratégica del Mantenimiento y Fiabilidad

Las fabricas altamente mecanizadas, los procesos de poca tolerancia o las averías de una máquina, pueden provocar el paro de los empleados y las instalaciones, la pérdida de clientes y de renombre comercial, y la transformación de los beneficios en pérdidas. En una oficina, un fallo en el generador, en un sistema de aire acondicionado o en un PC, puede provocar la interrupción de las operaciones. Una buena estrategia de mantenimiento y de fiabilidad protege el rendimiento y la inversión de la empresa.

El objetivo del mantenimiento y de la fiabilidad es mantener la capacidad del sistema mientras se controlan los costos. Un buen sistema de mantenimiento reduce la variabilidad del sistema. Los sistemas se deben diseñar y mantener para alcanzar los estándares de rendimiento y calidad. El mantenimiento incluye todas las actividades involucradas en mantener un equipo para que

funcione correctamente. La Fiabilidad es la probabilidad de que una parte de la máquina o del producto funcione adecuadamente en un momento determinado y bajo condiciones establecidas.

2.2.2.- Mantenimiento

Existen dos tipos de mantenimiento: el preventivo y el mantenimiento por avería. El mantenimiento preventivo implica inspecciones rutinarias y de servicio, así como el mantenimiento de las instalaciones para reparar los bienes y prevenir los fallos. Estas actividades están encaminadas a construir un sistema que encuentre los fallos potenciales y que modifique o repare para prevenir los fallos. El mantenimiento preventivo es mucho más que mantener en funcionamiento la maquinaria y el equipo. También implica el diseño de sistemas técnicos y humanos que mantendrán funcionando el proceso productivo dentro de la tolerancia que permite que el sistema rinda. El énfasis en el mantenimiento preventivo se pone en comprender el proceso y mantenerlo en funcionamiento sin interrupciones. El mantenimiento por avería se lleva a cabo cuando el equipo falla y se tiene que reparar debido a una emergencia o una prioridad.

El mantenimiento preventivo implica que podemos determinar en qué momento necesita el sistema un servicio o una reparación. Por lo tanto, para llevar a cabo un mantenimiento preventivo es necesario saber cuándo precisa el sistema un servicio o cuándo está a punto de fallar. Los fallos se producen en algún momento de la vida del producto. (HEIZER 2001).

2.2.3. Patrones de Falla

Las nuevas investigaciones han demostrado que a medida que los equipos y sistemas son cada vez más complejos, hay menos relación entre la edad de los equipos y la probabilidad de que éstos fallen, por cuanto los equipos y sistemas en la actualidad tienen cada vez más componentes electrónicos y software, los cuales no están sujetos a desgaste por fricción, como es el caso de la maquinaria rotatoria, tradicional agente de fallas. Por lo anterior, en la actualidad no sólo se identifica el modelo de la “tina de baño” (que asocia edad con tasa de fallas), sino también se han descubierto otros cinco patrones o modelos diferentes de comportamiento. A continuación se muestra los patrones de fallas descritos:

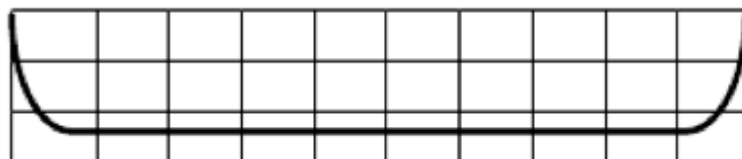


Figura 2.1. Patrón A: La curva de la “bañera”. Alta mortalidad infantil, luego un bajo nivel de falla aleatoria y por último una zona de desgaste.

Fuente: Análisis de la Producción y las Operaciones Steven Nahmias.

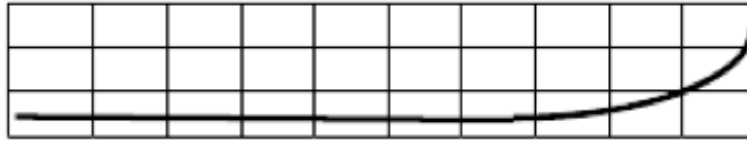


Figura 2.2. Patrón B: “El concepto tradicional de falla”. Un nivel constante de falla aleatoria y luego una zona de desgaste.

Fuente: Análisis de la Producción y las Operaciones Steven Nahmias



Figura 2.3. Patrón C: Un incremento constante de la probabilidad condicional de falla.

Fuente: Análisis de la Producción y las Operaciones Steven Nahmias.

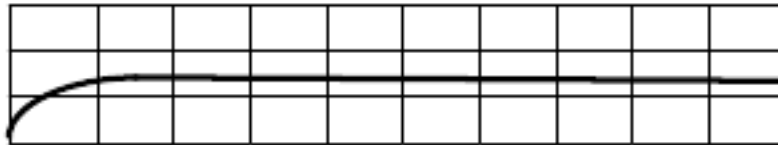


Figura 2.4. Patrón D: Un rápido incremento de la probabilidad de falla que se convierte luego en un nivel constante de falla aleatoria

Fuente: Análisis de la Producción y las Operaciones Steven Nahmias

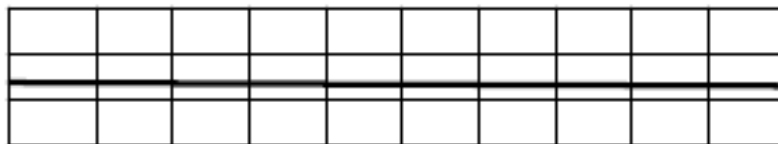


Figura 2.5. Patrón E: Falla aleatoria. No existe relación alguna entre la falla del componente y su probabilidad de falla

Fuente: Análisis de la Producción y las Operaciones Steven Nahmias

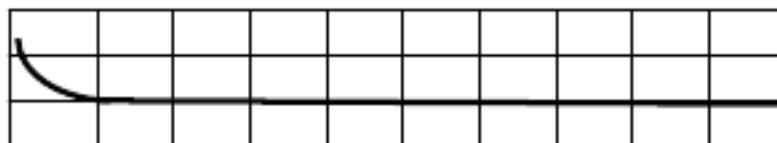


Figura 2.6. Patrón F: La curva “J” (tradicional) invertida. Alta mortalidad infantil luego un nivel constante de falla aleatoria

Fuente: Análisis de la Producción y las Operaciones Steven Nahmias

En general, estos modelos o patrones dependen de la complejidad y grado de automatización de los elementos. De esta forma, cuanto más complejos sean, es más probable que presenten fallas como los descritos en los modelos de Nivel Constante de Falla Aleatoria y la Curva J.

Esto permite concluir, tal como se mencionó anteriormente, que actualmente ya no es más válida la conexión directa entre confiabilidad y edad operacional.

Este hecho explica que durante mucho tiempo era una realidad que cuanto más frecuentemente se revisaba una pieza componente o accesorio, existía una menor probabilidad de que ésta fallara súbitamente, la realidad actual es que, a no ser que exista un modelo de falla dominante, los límites de edad influyen muy poco en la confiabilidad de un equipo complejo.

De esta manera, las intervenciones programadas a los equipos con demasiada frecuencia, pueden incluso aumentar las probabilidad de ocurrencia de fallas, por medio de la introducción de la “mortalidad infantil” dentro de sistemas que interviniendo con una menor frecuencia, mostrarían parámetros de tasas de falla menores.

Aunque muchos modos de falla no se relacionan con la edad, la mayoría de ellos da algún tipo de advertencia de que están en proceso de ocurrir, o que están por ocurrir. Si puede encontrarse alguna evidencia de que el equipo está en las últimas instancias de la falla, podría ser posible actuar para prevenir que falle completamente y/o evitar consecuencias.

La figura 2.7 ilustra lo que sucede en las etapas finales de la falla, cómo se deteriora al punto en que puede ser detectada (Punto “P”) y luego, si no es detectada y corregida, continúa deteriorándose, generalmente a una tasa acelerada hasta que llega al punto de falla funcional (“F”).

Además de la falla potencial en sí misma, necesitamos considerar la cantidad de tiempo (por el N° de ciclos de esfuerzo) que transcurre entre el punto en que ocurre una falla potencial, en otras palabras, el punto en el que se hace detectable y el punto en el que se deteriora llegando a la falla funcional. Este intervalo se conoce como intervalo “P-F”.

El intervalo “P-F” indica con qué frecuencia deben realizarse las tareas a condición. Si se requiere detectar la falla potencial antes de que se convierta en falla funcional, el intervalo entre las revisiones debe ser menor al intervalo “P-F”.

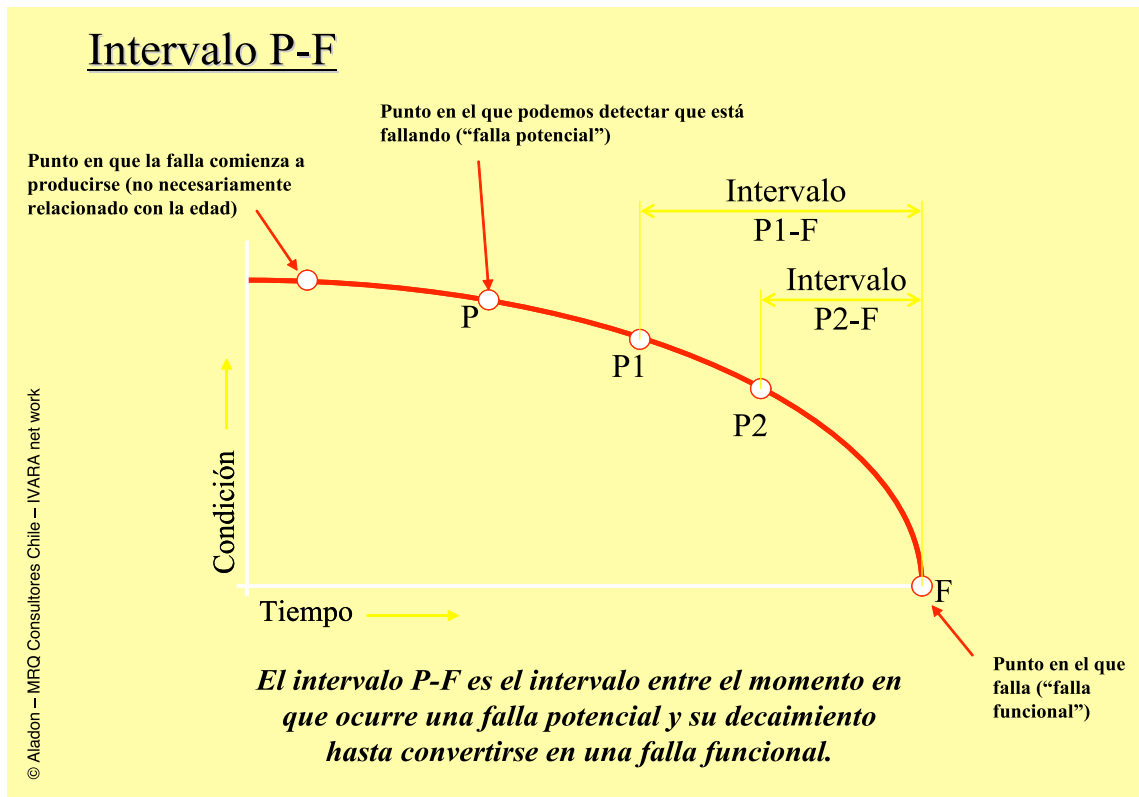


Figura 2.7. Intervalo P-F

Fuente: Aladon – MRQ Consultores Chile

La pregunta es ¿son los motores en cuestión, equipos de alta complejidad y que obedecen un patrón de falla no definido?, si bien no presentan alta complejidad la variabilidad está mayormente definida por el tipo de mantenimiento llevado a cabo y su probabilidad de falla.

La filosofía bajo el cual trabaja el investigador es dar con el momento indicado, ni antes ni después, para realizar el cambio de la pieza defectuosa, sin perjudicar la maquinaria en estudio.

2.3. ANTECEDENTES GENERALES DEL EQUIPO

Los motores Caterpillar de la Serie 3.300 están diseñados principalmente para aplicaciones agrícolas, para la generación de electricidad principal y de emergencia, para la industria petrolera y para aplicaciones industriales auxiliares. Son motores de inyección directa de combustible. Pueden ser de aspiración natural, con turbocompresión o con turbocompresión y pos-enfriamiento del agua de las camisas.

Disponen de un regulador hidromecánico de gama completa que controla la salida de combustible de la bomba de inyección para mantener las R.P.M. del motor al valor seleccionado por el operador. Las bombas de inyección individuales (una por cada cilindro) dosifican y bombean el combustible en alta presión a los inyectores. El avance tecnológico en el control automático aplicado a estos motores proporciona una sincronización óptima de la inyección de combustible en toda la gama de velocidades del motor.

El control de la relación de combustible está ubicado en el regulador, el cual limita el movimiento de la cremallera de combustible. Sólo se permite inyectar la cantidad apropiada de combustible en los cilindros durante la aceleración. Esto reduce al mínimo el humo de escape.

El aire de admisión atraviesa un filtro de aire. El aire es comprimido por un turbocompresor antes de entrar a los cilindros del motor. El turbocompresor está impulsado por los gases de escape del motor.

El motor es de cuatro tiempos. Cada culata tiene dos válvulas de admisión y dos válvulas de escape. El árbol de levas acciona los balancines y las válvulas por medio de levantaválvulas mecánicos y varilla de empuje.

El sistema de enfriamiento comprende:

- Una bomba centrífuga de engranajes (con un termostato que regula la temperatura del agua del motor).
- Un enfriador de aceite.
- Un radiador (que incluye un sistema de derivación).

El aceite lubricante del motor que está enfriado y filtrado, se suministra por una bomba del tipo de engranajes. Las válvulas de derivación proveen un caudal de aceite sin restricciones a los componentes del motor cuando la viscosidad del aceite es muy alta o si hay obstrucciones en el enfriador de aceite o en los elementos de filtro de aceite.

2.4. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS DEL EQUIPO

Los antecedentes específicos de los motores Caterpillar de la Serie 3.300, serán detallados por parte, considerando los cuatro sistemas básicos que operan en el motor y los costos asociados al mantenimiento; estos son: Sistema de enfriamiento, Sistema de Lubricación, Sistema de Admisión y Escape de Aire y finalmente Sistema de Combustible.

2.4.1. Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento del motor sirve para mantener la temperatura de un motor a un nivel adecuado. El calor siempre se desplaza de un punto de origen caliente a un punto de destino más frío. El punto de destino puede ser metal, líquido o aire. La clave es la diferencia de temperatura relativa entre los dos puntos.

Los componentes principales de un sistema de enfriamiento son:

- Bomba de agua
- Enfriador de aceite
- Conductos que atraviesan el bloque del motor y culata
- Caja de termostato
- Radiador
- Tapa de presión
- Mangueras y tuberías de conexión

Normalmente el sistema cuenta con un ventilador, el cual con el flujo de aire ayuda a disipar el calor, los ventiladores pueden ser de dos tipos sopladores y succionadores.



Figura 2.8. Sistema de enfriamiento

Fuente: Cartilla de Mantenimiento de Motores Caterpillar

2.4.2. Sistema de Lubricación

El sistema de lubricación consta de:

- Un colector o sumidero de aceite (Cárter).
- Una campana de succión.
- Bomba de aceite.
- Válvula de alivio.
- Filtro de aceite con válvula de derivación.
- Múltiple principal de aceite.
- Surtidores de enfriamiento de pistones (Eyectores).
- Respiradero del Cárter.

Desde el colector, el aceite transita por la rejilla de la campana de succión hacia la bomba de aceite y ésta genera un flujo que lo envía al motor, a través del enfriador de aceite que elimina el calor de éste y pasa a los filtros, donde se limpia de todas las impurezas que pueda tener.

El enfriador y los filtros tienen válvulas de derivación las cuales trabajan por presión, cuando el aceite está muy frío o presenta una restricción por suciedades, las válvulas abren y permiten el paso de aceite sucio, para no causar daños irreparables en el motor.

Desde los filtros, el aceite pasa al múltiple principal y se reparte en el interior del motor por todas sus canalizaciones, dándole prioridad a la refrigeración y lubricación del turbo y a todas las partes móviles como cigüeñal, eje de levas, engranajes etc.

Los surtidores o eyectores de aceite tienen la finalidad de pulverizar aceite en la parte inferior de cada pistón para refrigerarlos. También cumplen la finalidad de ayudar a la lubricación de las paredes de los cilindros, en este otro caso el aceite salpica a través de los cojinetes de biela hacia la parte inferior de los pistones.

Los respiraderos del Cárter ventean los gases de la combustión que se fugan por los anillos de los pistones, esto mantiene presiones estables dentro del Cárter. Los respiraderos a menudo están montados encima del motor, esto iguala la presión dentro del Cárter del motor con la presión en el exterior y deja que el aceite se drene de vuelta al Cárter. Es muy importante mantener los respiraderos limpios, si éstos se llegan a tapar por suciedades, aumentará la presión en el interior del motor lo que provocará abundantes filtraciones y rotura de sellos y empaquetaduras.

Los motores requieren de aceite con viscosidad y cantidad adecuada para poder operar bien. El aceite del motor debe cumplir cinco funciones en el motor:

- Lubricar.
- Enfriar.
- Limpiar.
- Amortiguar.
- Sellar.



Figura 2.9. Sistema de lubricación

Fuente: Cartilla de Mantenimiento de Motores Caterpillar

2.4.3. Sistema de Admisión y Escape de Aire

El sistema de admisión y escape de aire es muy importante en el trabajo de un motor, especialmente en su rendimiento. La entrega de potencia de un motor está relacionada directamente con la relación de aire/ combustible, cualquiera de estos elementos que falle, altera directamente la potencia del motor.

Los componentes del sistema de admisión y escape son:

- Pre-filtro de aire.
- Filtro de aire primario y de seguridad.
- Turbo alimentador.
- Múltiple de admisión.
- Enfriador de aire.
- Múltiple de escape.
- Tubo de escape.
- Silenciador.

El pre-filtro elimina los contaminantes más pesados y más grandes que se encuentran suspendidos en el aire, el aire limpio es crítico para obtener un rendimiento óptimo del motor.

Los gases de escape son la fuerza motriz que hace girar al turbo, los cuales provienen al evacuarse los gases de la combustión. Al girar la turbina transmite su movimiento a través del eje al compresor y éste por su construcción succiona aire el cual comprime y lo introduce al motor, directamente o través de un enfriador de aire, dependiendo de la potencia que deba entregar el motor.

La válvula de derivación de los gases de escape, se usa en algunos motores para controlar la presión de refuerzo. Cuando la presión de refuerzo tiende a aumentar por sobre lo especificado, la válvula de derivación se abre y permite derivar los gases de escape para que no pasen por la turbina y salgan directamente por el tubo de escape y así bajar las revoluciones del turbo, esto lo mantiene trabajando siempre sobre las normas especificadas con la relación de aire/combustible, siempre en óptimas condiciones de trabajo.

Los turbocompresores, al comprimir el aire de suministro al motor lo calientan alrededor de 149°C el aire caliente es menos denso y como se necesita mayor cantidad de aire para el rendimiento óptimo del motor es necesario enfriarlo, para esto se usa un enfriador de aire pos-enfriador o "after cooler" al pasar el aire caliente a través de él, le quita el calor dejándolo más denso y con esto se logra introducir más aire comprimido a cada cilindro del motor, y poder mejorar su rendimiento. Los post-enfriadores se llaman así porque enfrían el aire después de atravesar el turbo, ciertos pos-enfriadores se encuentran ubicados entre el turbo y el múltiple de admisión y otros se encuentran en el interior del múltiple de admisión.

Los tipos de sistema de admisión de aire son:

- Sistema de aspiración natural (N.A.).
- Sistema turbo alimentado (T).
- Sistema turbo alimentado pos-enfriado (T.A).

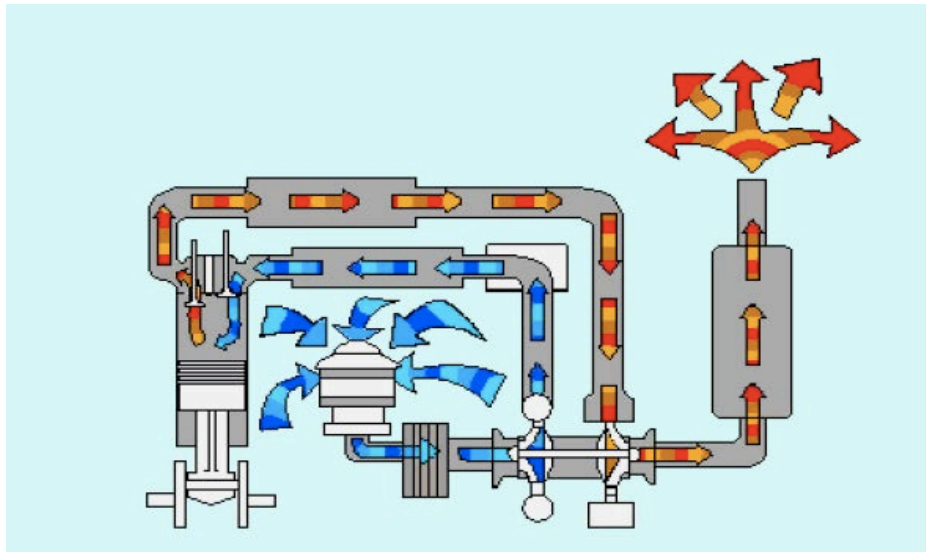


Figura 2.10. Sistema de admisión y escape de aire

Fuente: Cartilla de Mantenimiento de Motores Caterpillar.

2.4.4. Sistema de Combustible

La cantidad de combustible que consume un motor está relacionado directamente con la cantidad de aire y la potencia a entregar.

El sistema de combustible suministra combustible limpio, en el momento y cantidad suficiente, para satisfacer la demanda de potencia.

Los componentes del sistema de combustible son:

- Estanque de combustible.
- Filtros.
- Bomba de transferencia.
- Bomba inyectora
- Regulador o Gobernador.
- Mecanismo de avance de sincronización.
- Control de relación aire/ combustible.
- Tubería de combustible de alta presión.
- Tubería de combustible de baja presión.
- Inyectores.
- Tubería de retorno.

Los componentes del sistema de combustible hacen corresponder el suministro de combustible con la demanda de potencia del motor, alterando la cantidad de combustible inyectada, y el

momento de la inyección, estas funciones son controladas por la bomba inyectora y un gobernador o por un módulo de control electrónico.

Los estanques de combustible almacenan el petróleo de suministro para el motor, éstos pueden ser de distinta forma y tamaño y pueden estar ubicados en distintos lugares, dependiendo de su aplicación. Lo que hay que tener presente es que los estanques al ser construidos de metal, está sometidos a la condensación del agua, por tal motivo todos los estanques se deben drenar todos los días o cada 10 horas para eliminar el agua del estanque, al no eliminar el agua ésta entrará al sistema de inyección causando severos daños por oxidación a los distintos componentes, en los elementos bombantes este daño es irreparable.

El flujo de combustible se inicia al momento de girar la llave de contacto para arrancar el motor, al girar la llave se activa un solenoide que permite la circulación de combustible de la bomba de transferencia a la bomba inyectora. La bomba de transferencia extrae combustible desde el estanque a través del filtro primario de combustible, que es el encargado de eliminar todas las partículas grandes. La bomba de transferencia suministra flujo por la parte de baja presión del sistema de combustible, la finalidad principal de la bomba de transferencia de combustible es mantener un suministro adecuado de combustible limpio en la bomba inyectora o en los inyectores bomba.

El filtro de combustible principal o secundario, elimina partículas y contaminantes diminutos del combustible, que pueden dañar los elementos bombantes y los inyectores, los filtros finales se encuentran ubicados entre la bomba de transferencia y la caja de la bomba inyectora. El combustible sale del filtro final y pasa a la canalización de combustible dentro de la caja de la bomba inyectora.

La bomba inyectora está ubicada por lo general cerca de la parte delantera del motor, ya que debe ser impulsada por los engranajes de distribución. En los sistemas con bombas inyectoras, las tuberías de combustible de alta presión hechas de acero conectan los elementos bombantes con los inyectores, los inyectores se encuentran ubicados en la culata.

Los inyectores disponen de válvulas que se abren cuando la presión de combustible es lo suficientemente alta. Cuando se abre la válvula el combustible se atomiza y se pulveriza en la cámara de combustión, al final de la inyección se produce una caída rápida de presión que cierra la válvula.

El sistema de combustible posee una tubería de retorno que tiene por función:

- Dirigir el exceso de combustible de vuelta al estanque.
- Eliminar el aire del sistema.

- Enfriar el combustible manteniéndolo en movimiento.

Todos los sistemas de combustible disponen de métodos electrónicos o manuales para cortar el suministro de combustible.

En motores diesel el combustible se inyecta en la carrera de compresión antes de que el pistón llegue al punto muerto superior. El principio básico de inyección de combustible, es que se debe inyectar la cantidad justa en el momento apropiado, para poder satisfacer la demanda de potencia.

El combustible requiere tiempo para quemarse, esto se denomina:

- Ventana de quemado.
- Punto inicial de inyección.
- Duración de la inyección.

Los reguladores o gobernadores regulan el suministro de combustible para controlar la velocidad del motor entre un ajuste de bajas R.P.M. y un ajuste de altas R.P.M., llamado normalmente velocidad baja y velocidad alta en vacío respectivamente. Los reguladores están montados normalmente en la parte trasera o superior de la bomba inyectora.

El sistema de combustible no puede operar aislado de los otros sistemas del motor, en particular el sistema de admisión y escape no se quema completamente a menos que haya suficiente aire. El control de relación aire/combustible asegura que haya la cantidad apropiada de combustible inyectado para la cantidad de aire presente en el cilindro, éste detecta la presión de refuerzo y anulará la acción del regulador para impedir que se inyecte un exceso de combustible, esta acción ayuda a controlar las emisiones y mejora la eficiencia del combustible. El control de relación aire/combustible se encuentra montado en el regulador.



Figura 2.11. Sistema de combustible

Fuente: Cartilla de Mantenimiento de Motores Caterpillar

2.4.5. Especificaciones Técnicas del Motor Caterpillar Serie 3300

Especificaciones Del Motor Caterpillar 3304B	
Número de cilindros	4 en línea
Calibre	121 mm (4,75")
Carrera	152 mm (6,0")
Relación de compresión	15:1
Aspiración	NA y T
Cilindrada	7,0 L (425 pulg3)
Orden de encendido	1-3-4-2
Rotación (vista desde el volante)	A la izquierda

Tabla 2.1. Especificación técnica del motor Caterpillar 3304B

Fuente: Manual de Operación de los Motores Caterpillar.

Ajuste De La Luz De Las Válvulas – Motor 3304B	
Admisión	0,38 mm (0,015")
Escape	0,64 mm (0,025")

Fuente: Manual de Operación de los Motores Caterpillar

Tabla 2.2. Ajuste de la luz de las válvulas del motor Caterpillar 3304B

Especificaciones Del Motor Caterpillar 3306B	
Número de cilindros	6 en línea
Calibre	121 mm (4,75")
Carrera	152 mm (6,0")
Relación de compresión	15:1
Aspiración	NA , T y TA
Cilindrada	10,5 L (638 pulg3)
Orden de encendido	1-5-3-6-2-4
Rotación (vista desde el volante)	A la izquierda

Tabla 2.3. Especificación técnica del motor Caterpillar 3306B

Fuente: Manual de Operación de los Motores Caterpillar

Ajuste De La Luz De Las Válvulas – Motor 3306B	
Admisión	0,38 mm (0,015")
Escape	0,64 mm (0,025")

Tabla 2.4.. Ajuste de la luz de las válvulas del motor Caterpillar 3306B

Fuente: Manual de Operación de los Motores Caterpillar.

2.5. HERRAMIENTAS DE LA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN DEL MANTENIMIENTO

2.5.1 Mantenimiento productivo total

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) *Total Productive Maintenance o Management*, es una efectiva herramienta de gestión con énfasis en el mantenimiento industrial creado para aumentar la productividad, la calidad y la competitividad de operaciones industriales. Se desarrolla creando o mejorando los sistemas de trabajos para prevenir todo tipo de pérdidas. Esto incluye, sistemas para lograr “cero accidentes, cero defectos y cero fallas”, abarca a todos los sectores de la organización, y no solamente a quienes administran o ejecutan el mantenimiento. Una característica básica del TPM es que son los propios operarios de producción quienes llevan a término el mantenimiento autónomo, también denominado mantenimiento de primer nivel. Algunas de las tareas fundamentales son: limpieza, inspección, lubricación, aprietes y ajustes.

2.5.2. Seis Sigma

El Seis Sigma es una metodología que permite la mejora continua en los procesos, en la fabricación, así como en el diseño de los productos y en la prestación de servicios.

Técnicamente “seis sigma” consiste en hablar de una proporción de errores de 3,4 por millón de oportunidades, aunque en la práctica denota mucho más que un recuento de errores. Se basa en los principios de la Gestión de la Calidad Total, y para su implantación exitosa necesita de todos ellos, comenzando por el compromiso y liderazgo de la dirección hasta llegar a la existencia de una cultura de calidad fuerte y arraigada.

La función de mantenimiento se puede beneficiar de esta estrategia ya que contribuye a mejorar la disciplina en el manejo de la información del mantenimiento, a valorar la importancia de los datos que arrojan las intervenciones en los equipos y el uso eficaz de la información para diseñar estrategias de mantenimiento.

2.5.3. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM).

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (*Reliability Centered Maintenance*) se originó en la industria aeronáutica, a comienzos de los años 70, como respuesta a la necesidad de bajar la tasa de fallas de las Aeronaves en esa época. La Armada de los EE.UU., fue la primera en aplicar este nuevo método para el diseño del Mantenimiento Preventivo, implementándose este prototipo de aplicación en el barco USS. ROARK (FF-1053) en 1978.

RCM es *“un proceso que se usa para determinar lo que debe hacerse con el fin de asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente”*.

El RCM se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. De esta manera, antes de explorar esta relación, es necesario saber en forma detallada qué tipo de elementos físicos existen en la organización, y cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión del R.C.M. En la mayoría de los casos, esto significa que debe realizarse un registro de equipos completo.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad es tomado de cuidadosas consideraciones de las siguientes preguntas o cuestionamientos:

- *¿Cuáles son las funciones de un equipo / sistema?*
- *¿De qué forma puede fallar?*
- *¿Qué causa que falle?*
- *¿Qué sucede cuando falla?*
- *¿Qué ocurre si falla?*
- *¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?*
- *¿Qué sucede si no puede prevenirse la falla?*

Sus principales ventajas son:

- Es un eficiente programa de mantenimiento.
- Bajo costo de operación debido a la eliminación del mantenimiento innecesario a los equipos.
- Disminuye la consecuencia de falla del tipo aleatoria que no entregan síntoma (sensores, tarjetas eléctricas, etc.).
- Concentra las actividades de mantenimiento en componentes de sistemas críticos.
- Aumenta la confiabilidad de los sistemas.

Como antes se mencionó el mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el momento preciso de la ocurrencia de una falla en un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, justo antes de que falle. Así, se reduce la probabilidad de tiempos muertos del equipo por consecuencia aumenta la disponibilidad del equipo.

A la luz de los resultados de las pruebas realizadas por Asmar y Finning las técnicas mantenimiento predictivo propuesto para monitorear el comportamiento de los componentes críticos en la extensión del período entre Overhaul de los motores Caterpillar de la serie 3.300, serán el análisis de aceite, análisis AT 1-2, corte de filtro e inspección de tapones.

2.6. Técnicas de Análisis de Los Motores

2.6.1. Análisis de Aceite

De manera muy similar a como un análisis de sangre permite a un médico diagnosticar la condición de su paciente, el análisis de aceite usado, extraído del circuito de elaboración de una máquina, permite diagnosticar la condición interna de esa máquina.

Los objetivos que se persiguen al realizar un análisis de aceites son los siguientes:

- Establecer la condición del aceite.
- Predecir fallas.
- Evitar daños permanentes.
- Disminuir paradas innecesarias.
- Aumentar la vida útil del equipo.
- Aumentar la disponibilidad del equipo.
- Incrementar la eficiencia del equipo.
- Reducir costos por mantenimiento, mano de obra y repuestos.
- Establecer la frecuencia del cambio de aceite.
- Asegurar el lubricante adecuado para el equipo.

El aceite desempeña varias funciones vitales, estando muchas de ellas interrelacionadas. La capacidad del aceite puede ser determinada mediante el análisis del aceite usado. Algunas de las funciones primarias del lubricante que pueden ser evaluadas son:

- Control de la fricción.
- Control de los contaminantes.
- Control del desgaste.
- Presión hidráulica.
- Control de la corrosión.
- Control de la temperatura de operación.
- Función sellante.

2.6.2. Tipos de Análisis de Aceite

Para los motores Caterpillar se consideraran tres tipos de análisis de aceite: El análisis o ensayo físico químico, el análisis infrarrojo diferencial y análisis espectrofotométrico de absorción atómica.

Ensayo físico químico: El ensayo físico químico del aceite es un conjunto de pruebas, mediante el cual se determina el porcentaje de viscosidad, dilución por combustible, contaminación total, contenido de agua y reserva alcalina o T.B.N. De acuerdo a lo anterior lo que se busca en cada ensayo es lo siguiente:

- Aumento de la viscosidad: La viscosidad del lubricante aumentará como consecuencia de la formación de productos de la oxidación del aceite que quedan en suspensión en éste, los cuales se relacionan con la existencia de puntos de alta temperatura en contacto con aceite y aire. Además otro factor que aumenta la viscosidad del lubricante es el contenido del carboncillo.

El ensayo de viscosidad debe siempre ejecutarse en conjunto con el de dilución por combustible, ya que esta última contaminación producirá una disminución de la viscosidad, disminuyendo el efecto de la oxidación.

- Disminución de la viscosidad: La disminución de la viscosidad del lubricante ocurre principalmente por el paso de combustible al lubricante, lo que se denomina “dilución por combustible”. Este tipo de contaminación se debe a fallas en la atomización de petróleo que trae como consecuencia una combustión incompleta en el interior de las cámaras o también un desgaste excesivo en los anillos y sus calzos en el pistón. Además enmascara un aumento de partículas insolubles y baja el punto de inflamación, lo que puede traer como consecuencia un peligro de explosión en el cárter. La viscosidad también disminuye en operación por aumento de la temperatura de operación del lubricante.
- Dilución por combustible: La dilución por combustible se presenta generalmente por atomización deficiente, filtraciones (en ocasiones producto del desgaste) u operación prolongada del motor bajo un 30% de su potencia. Una dilución superior al 3% obligara a tomar acción para eliminar la fuente de contaminación. Una dilución de 5% en volumen es un nivel peligroso por la eventualidad de explosiones en el cárter, ante lo cual se deberá cambiar el aceite junto con eliminar la fuente de contaminación.
- Contaminación total (insoluble en pentano): Este ensayo entrega los resultados de la contaminación total, es decir, el porcentaje en peso de los contaminantes sólidos (carboncillo, polvo y metales de desgaste) y de las resinas producto de la oxidación del aceite. En este ensayo es fundamental que la muestra sea obtenida de aceite en circulación y a temperatura normal de trabajo.

El carboncillo es inevitable en un motor diesel y responsable del ennegrecimiento del aceite. La contaminación por polvo (Silicio), proviene de una exposición prolongada del motor o estanque de almacenamiento a un ambiente con una alta contaminación de ese tipo (por ejemplo, durante

faenas de arenado) o por deficiencias de los filtros de aire. Esta contaminación causará daños serios y prematuros por desgaste y ralladuras en el metal antifricción de casquetes y camisas.

- Contenido de agua: la presencia de agua en el aceite altera su viscosidad, favorece la formación de espuma y corroe los componentes metálicos y casquetes. Sólo en casos de emergencia puede aceptarse el funcionamiento del motor con un 1% de agua en volumen.
- Reserva de alcalinidad (T.B.N.): los aceites para motores diesel, por efecto de sus aditivos presentan basicidad cuando están nuevos. Dicha alcalinidad es necesaria para neutralizar los ácidos fuertes formados producto de la contaminación con el azufre proveniente del combustible o productos de oxidación (que son de naturaleza ácida). La elección de un aceite de acuerdo al contenido de T.B.N. dependerá en gran parte del contenido de azufre del combustible, pero además de la detergencia que requiera el lubricante de un motor determinado. El T.B.N. del aceite está directamente relacionado con su capacidad de detergencia-dispersancia, la cual le permite mantener en suspensión los contaminantes producidos por la combustión; a medida que disminuye el T.B.N. se reduce la capacidad de limpieza del aceite, en especial la cabeza del pistón y la zona de los anillos. El nivel de T.B.N. disminuirá entre cambios de aceite, ya que se consume, pero se regula automáticamente con la adición del aceite correspondiente al consumo del motor (rellenos).

Los parámetros considerados para este ensayo son los que se muestran en la tabla 2.5.

Ensayo	ASTM	Límites máximos
Viscosidad	D-445	40% de aumento respecto a aceite nuevo. 15% de disminución respecto a aceite nuevo.
Dilución por combustible	D-322	3% (en volumen) alerta, 5% acción.
Contaminación total	D-893	1,5% en peso.
Contenido de agua	D-95	0,2% en volumen.
Reserva alcalina o T.B.N.	D-664	50% de disminución del valor original.

Tabla 2.5. Ensayos Físico-Químicos

Fuente: Elaboración propia

2.6.3 Análisis Infrarrojo Diferencial

El análisis infrarrojo diferencial permite examinar un aceite usado comparándolo con el original nuevo, mediante un espectrofotómetro infrarrojo. Consiste en hacer pasar una luz infrarroja a través de una delgada película de aceite nuevo, y a través del aceite en análisis. Se obtiene en cada caso un espectro de absorción, los que son comparados para detectar las diferencias, asociadas a las diferentes longitudes de onda de los contaminantes característicos del aceite usado (agua, hollín, combustible, productos de la oxidación, nitratos orgánicos, etc.)

Aún cuando el instrumento entrega también el contenido de agua y dilución por combustible, dichos parámetros se controlarán exclusivamente mediante el correspondiente ensayo físico-químico.

Los parámetros máximos considerados en el análisis infrarrojo diferencial se muestran en la tabla 2.6.

Tabla 2.6. Análisis infrarrojo diferencial

Ensayo	Límites máximos
% Transmitancia	20 %
Nivel de Oxidación	20 A/cm
Nivel de Nitración	18 A/cm
Nivel de Sulfatación	20 A/cm
Nivel de Glicol	1000 ppm

Tabla 2.6. Análisis infrarrojo diferencial

Fuente: Elaboración propia

2.6.4 Análisis de Espectrofotometría de Absorción Atómica

El desgaste de un motor de combustión interna correctamente mantenido y operado es progresivo y presenta una variación regular constante del contenido de metales en las muestras de aceite lubricante analizado a intervalos fijos de horas de trabajo. Los resultados varían según el modelo de motor e incluso para dos motores idénticos que operan en regímenes de carga diferentes.

El análisis de trazas metálicas permite determinar la concentración en partes por mil ppm. de los metales presentes en una muestra de lubricante. Algunos de los metales más representativos son cobre (Cu), hierro (Fe), cromo (Cr), plomo (Pb) y níquel (Ni). El siguiente es el origen más característico de las diferentes trazas metálicas encontradas en el aceite:

- Cu: Descansos del eje cigüeñal y balancines; Enfriador de aceite.
- Fe y Cr: Anillos y Camisas.
- Pb: Descansos del eje cigüeñal (Cu-Pb).
- Ni: Vástagos de válvulas; eje cigüeñal.

Los parámetros máximos considerados en el análisis infrarrojo diferencial se muestran en la tabla 2.7.

Elemento	ppm Normal	ppm Alerta	ppm Acción
Cu	15-30	30-40	> 50
Fe	50-100	100-150	> 200
Pb	15-30	30-40	> 40
Ni	10-20	20-30	> 40
Cr	10-20	20-30	> 30

Tabla 2.7. Análisis de Espectrofotometría de absorción atómica

Fuente: Elaboración propia

2.6.5. Análisis AT 1 - AT 2

Esta herramienta de testeo es la entregada por el fabricante para medir las presiones y temperaturas de los sistemas principales del Motor Caterpillar Serie 3.300, existen dos tipos de análisis: AT-1 y AT-2.

Los análisis técnicos visuales (AT1) tienen que ver con una inspección de rutina, donde se pueden determinar filtraciones, daños en arnés, daños en cañerías y toda avería simple que en un futuro pudiese causar una detención no programada, estas son realizadas por usuarios, capacitados, que operan y mantienen los equipos. En general el AT1 es una rutina de mantenimiento que permite evitar futuras detenciones no programadas a diferencia del AT2 que se realiza cuando ya se detecta una condición de funcionamiento erróneo y necesitamos saber cual de los componentes es el que esta mas afectado, sin embargo algunos mantenedores lo utilizan como rutina para evaluar el comportamiento del los componentes a lo largo de su vida útil.

Los análisis técnicos instrumentales (AT2) es una evaluación que tiene como finalidad determinar el estado de los componentes a través de sus presiones, temperaturas, holguras, etc. Las mediciones entregadas por este equipo nos entregan un diagnóstico del estado motor a través de sus parámetros de funcionamiento, con estos datos se pueden advertir baja presión de lubricación, , holguras en el turbo, altas temperaturas de funcionamiento, inyectores defectuosos, holguras en el cigüeñal, compresión al Carter, desregulación de las válvulas, motor con baja potencia , alta o baja velocidad de stall, presiones del sistema de refrigeración, defectos en el sistema de carga y arranque a través del estado del alternador y motor de partida. En las siguientes figuras se muestran algunos puntos de medición:

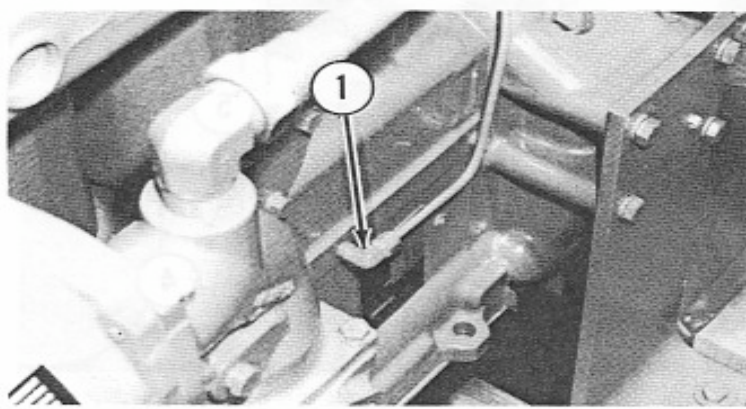


Figura 2.12. Punto de medición de Presión de aceite

Fuente: Manual Caterpillar Motors 3300



Figura 2.13. Punto de medición de presión de combustible

Fuente: Manual Caterpillar Motors 3300

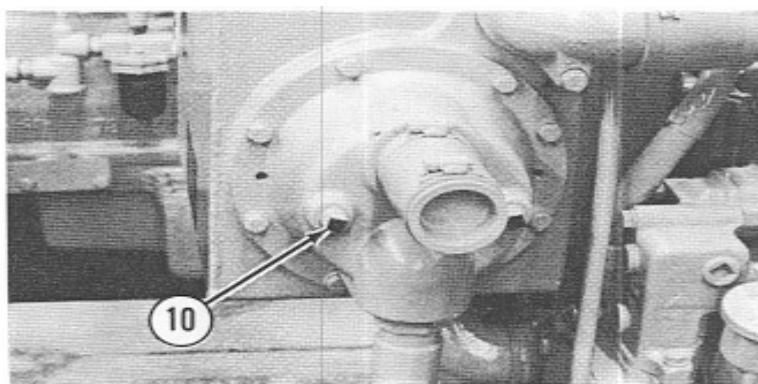


Figura 2.14. Punto de medición de presión de agua de mar

Fuente: Manual Caterpillar Motors 3300

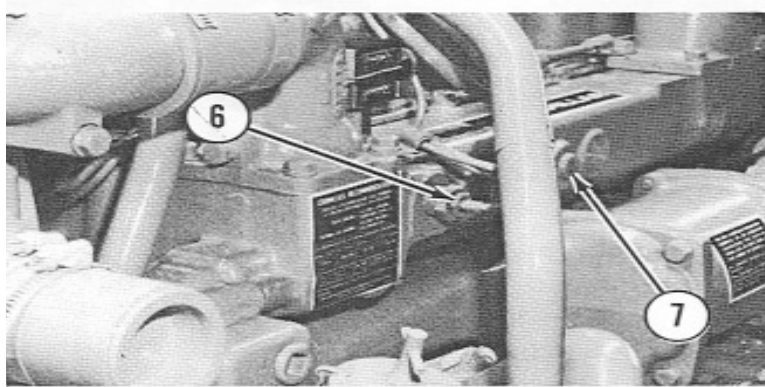


Figura 2.15. Punto de medición de presión de agua dulce

Fuente: Manual Caterpillar Motors 3300

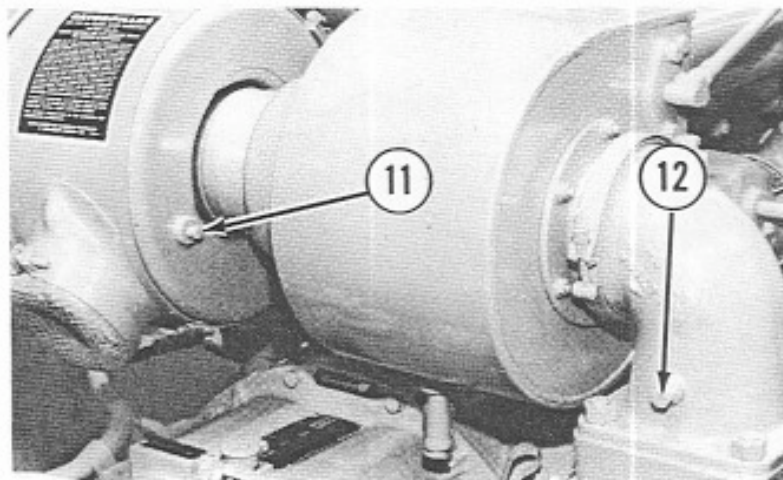


Figura 2.16. Punto de medición de presión de aire

Fuente: Manual Caterpillar Motors 3300



Figura 2.17. Holgura de Cigüeñal
Fuente: Finning Chile



Figura 2.18. Holgura del Turbo
Fuente: Finning Chile

La institución posee cuatro equipos de testeo bajo la tuición de la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales, de acuerdo a lo señalado esta herramienta se utiliza para comparar los parámetros nominales del equipo con las mediciones tomadas en el momento de testeo, se mide presión de aceite, de combustible, de aire, de agua de mar y agua de enfriamiento, además se miden las temperaturas del aceite combustible y aire. En el Anexo C se muestra un análisis técnico de la prueba AT 1-2.

2.6.7. Corte Filtros e Inspección de Tapones

La rutina de mantenimiento de corte de filtros se efectúa en todos los mantenimiento donde hay cambio de filtro y tiene como objetivo verificar el tamaño de las partículas que el filtro esta reteniendo, ya que, los análisis de aceites no logran ver las partículas de gran tamaño (10 micrones), por ejemplo en el caso de una falla en un engranaje por desprendimiento lo que la muestra de aceite podría arrojar seria una muestra en amarillo con presencia de pocas partículas metálicas y el filtro estaría reteniendo la mayor parte de estas, obviamente a estos análisis se les debe sumar el conteo de partículas que indicará el tamaño aproximado de las partículas no así el tipo estas (Fe, Cr, Al, Pb, etc.).

Para el caso de los tapones magnéticos la idea es evaluar al principio de la vida útil del componente el particulado depositado en el lado magnético del tapón, con el fin de compararlo con otros obtenidos avanzadas las horas del equipo, en muchos casos la inspección de tapones permite encontrar cualquier partícula que se desprendió de algún componente que se esta dañando pudiendo determinar a través de su morfología la procedencia de esta.

2.7. Análisis Valor Actual Neto

Es el modelo o método de mayor aceptación, y consiste en la actualización de flujos netos de fondos a una tasa conocida y que no es más que el costo medio ponderado de capital, determinado sobre la base de los recursos financieros programados con antelación. Esto descansa en el criterio ya esbozado en anteriores oportunidades; las decisiones de inversión deben aumentar el valor total de la empresa, como parte de una sana y productiva política administrativa. Algunos autores señalan que, en ciertos casos, es pertinente usar lo que se denomina la tasa de descuento, que no es otra cosa que la tasa que se usa en el mercado para determinar la factibilidad financiera de los proyectos de inversión.

$$VAN = -A + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{(1+k)^t}$$

Figura 2.19. Formula Valor Actual Neto.

Fuente: Ingeniería Económica, Blank Tarkin 4^{ta} Edición.

Donde:

A = desembolso inicial

Q_t = flujo de efectivo en el período T

k = costo de capital

n = vida útil estimada para la inversión.

Inversión Inicial.

Corresponde al valor económico del desembolso que la compañía debe hacer en pos del desarrollo del proyecto. En dicho monto podemos agrupar: valor de los activos fijos, inversión diferida, capital de trabajo entre otros.

Tasa de Descuento.

Es la tasa de retorno requerida sobre una inversión. La tasa de descuento refleja la oportunidad perdida de gastar o invertir en el presente por lo que también se le conoce como costo o tasa de oportunidad. Su operación consiste en aplicar en forma contraria el concepto de tasa compuesta, Es decir, si a futuro la tasa de interés compuesto capitaliza el monto de intereses de una inversión presente, la tasa de descuento revierte dicha operación. En otras palabras se encarga de descontar el monto capitalizado de intereses del total de ingresos percibidos en el futuro.

De este modo, se analiza el indicador VAN, el cual retorna si es mayor a cero que el proyecto es rentable o conveniente, igual a cero que el proyecto no genera rentabilidad, que los costos envueltos son los mismos que las ganancias; finalmente si es menor a cero el proyecto no es conveniente.

En el presente proyecto, no requiere de una inversión inicial, lo cual lo hace particular debido a que ya se cuenta con la familia de motores. Lo que si esta bajo evaluación es en términos técnicos y económicos de la propuesta de una intervención en los ciclos entre overhaul, mantenimiento predictivo a los motores de la Serie 3300 Caterpillar.

2.7.1. Comparación en Valor Presente de Alternativas Con Vidas Diferentes

Cuando se utiliza el método de valor presente para comparar alternativas mutuamente excluyentes que tienen vidas diferentes, comparando las alternativas durante el mismo número de años. Esto es necesario pues, por definición, una comparación comprende el cálculo del valor presente equivalente de todos los flujos de efectivo futuros para cada alternativa. Una comparación

justa puede realizarse sólo cuando los valores presentes representan costos y las entradas asociadas con un servicio igual, como se describió en la sección anterior. La imposibilidad de comparar un servicio igual siempre favorecerá la alternativa de vida más corta (para costos), aun si ésta no fuera la más económica, ya que hay menos periodos de costos involucrados. El requerimiento de servicio igual puede satisfacerse mediante dos enfoques, Comparar alternativas durante un periodo de tiempo igual al mínimo común múltiplo (MCM) de sus vidas y Comparar las alternativas utilizando un periodo de estudio de longitud n años, que no necesariamente considera las vidas de las alternativas. Éste se denomina el enfoque de horizonte de planeación.

Para el enfoque MCM, se logra un servicio igual comparando el mínimo común múltiplo de las vidas entre las alternativas, lo cual hace que automáticamente sus flujos de efectivo se extiendan al mismo periodo de tiempo. Es decir, se supone que el flujo de efectivo para un ciclo de una alternativa debe duplicarse por el mínimo común múltiplo de los años.

2.8. ANÁLISIS FODA

El análisis FODA tiene como objetivo el identificar y analizar las Fuerzas y Debilidades de una Institución u Organización, así también las Oportunidades y Amenazas, que presenta la información que se ha recolectado.

Se utiliza para desarrollar un plan que tome en consideración diferentes factores internos y externos para así maximizar el potencial de las fuerzas y oportunidades minimizando así el impacto de las debilidades y amenazas.

2.8.1. Análisis Interno.

Para el diagnóstico interno será necesario conocer las fuerzas al interior que intervienen para facilitar el logro de los objetivos, sus limitaciones que impiden el alcance de las metas de una manera eficiente y efectiva. En el primer caso estaremos hablando de las fortalezas y en el segundo de las debilidades.

2.8.2. Análisis Externo.

Para realizar el diagnóstico es necesario analizar las condiciones o circunstancias ventajosas de su entorno que la pueden beneficiar; identificadas como las oportunidades; así como las

tendencias del contexto que en cualquier momento pueden ser perjudiciales y que constituyen las amenazas, con estos dos elementos se podrá integrar el diagnóstico externo.

A partir del análisis FODA se obtiene información relevante respecto del funcionamiento operativo del Departamento de Sistemas Navales.

2.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

2.9.1. Definición de Correlación Lineal

En ocasiones nos puede interesar estudiar si existe o no algún tipo de relación entre dos variables aleatorias. Así, por ejemplo, podemos preguntarnos si hay alguna relación entre las notas de la asignatura Estadística I y las de Matemáticas I. Una primera aproximación al problema consistiría en dibujar en el plano R2 un punto por cada alumno: la primera coordenada de cada punto sería su nota en estadística, mientras que la segunda sería su nota en matemáticas. Así, obtendríamos una nube de puntos la cual podría indicarnos visualmente la existencia o no de algún tipo de relación (lineal, parabólica, exponencial, etc.) entre ambas notas.

Otro ejemplo, consistiría en analizar la facturación de una empresa en un periodo de tiempo dado y de cómo influyen los gastos de promoción y publicidad en dicha facturación. Si consideramos un periodo de tiempo de 10 años, una posible representación sería situar un punto por cada año de forma que la primera coordenada de cada punto sería la cantidad en euros invertidos en publicidad, mientras que la segunda sería la cantidad en euros obtenidos de su facturación. De esta manera, obtendríamos una nube de puntos que nos indicaría el tipo de relación existente entre ambas variables.

En particular, nos interesa cuantificar la intensidad de la relación **lineal** entre dos variables. El parámetro que nos da tal cuantificación es el **coeficiente de correlación lineal de Pearson r**, cuyo valor oscila entre -1 y +1 :

$$-1 \leq r = \frac{Cov(X,Y)}{s_X s_Y} = \frac{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X}) * (Y_t - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (X_t - \bar{X})^2} * \sqrt{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}} \leq +1$$

Figura 2.20. Fórmula Correlación Lineal de Pearson r.

Fuente: Gestión de la Calidad: Conceptos, Enfoques, Modelos y Sistemas. César Camisón. 2007

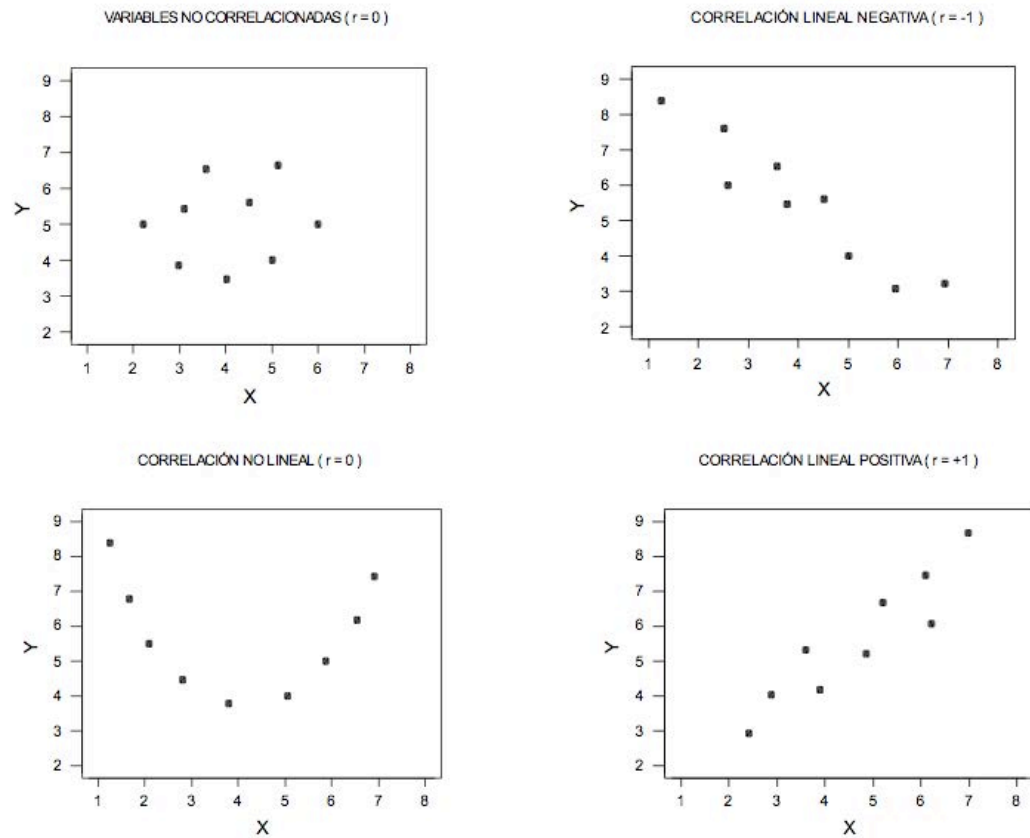


Figura 2.21. Nube de datos.

Fuente: Gestión de la Calidad: Conceptos, Enfoques, Modelos y Sistemas. César Camisón. 2007.

Como se observa en los diagramas anteriores, el valor de r se aproxima a $+1$ cuando la correlación tiende a ser lineal directa (mayores valores de X significan mayores valores de Y), y se aproxima a -1 cuando la correlación tiende a ser lineal inversa.

Es importante notar que la existencia de correlación entre variables no implica causalidad.

2.9.2. Características del Concepto Regresión Lineal

En aquellos casos en que el coeficiente de regresión lineal sea “cercano” a $+1$ o a -1 , tiene sentido considerar la ecuación de la recta que “mejor se ajuste” a la nube de puntos (recta de mínimos cuadrados). Uno de los principales usos de dicha recta será el de predecir o estimar los valores de Y que obtendríamos para distintos valores de X . Estos conceptos quedarán representados en lo que llamamos diagrama de dispersión:

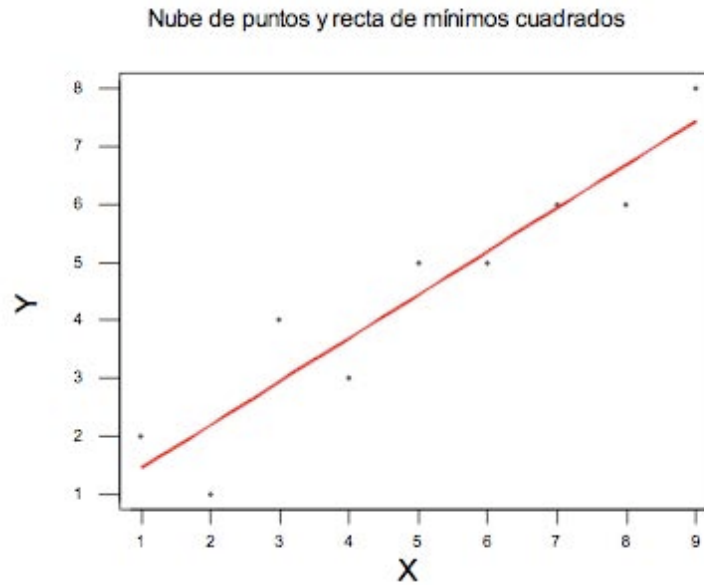


Figura 2.22 Nube de Puntos y Recta de mínimos Cuadrados.

Fuente: Gestión de la Calidad: Conceptos, Enfoques, Modelos y Sistemas. César Camisón. 2007

La ecuación de la **recta de mínimos cuadrados** (en forma punto-pendiente) es la siguiente:

$$y - \bar{y} = \frac{Cov(X, Y)}{s_x^2} (x - \bar{x})$$

Figura 2.23 Ecuación de la Recta Mínimos Cuadrados.

Fuente: Gestión de la Calidad: Conceptos, Enfoques, Modelos y Sistemas. César Camisón. 2007.

La utilización de la herramienta estadística regresión lineal tiene relación con la proyección de precios, proyectada para los próximos 14 años de vida útil de la maquinaria, de modo que se han tomado los valores de los 9 años anteriores y han retornado los valores económicos de los años futuros.

3. METODOLOGÍA

3.1. Metodología de Trabajo.

Este trabajo busca investigar parte importante de la gestión de la producción del mantenimiento, con una orientación técnica del tema y a su vez con un análisis económico basado en herramientas de la Ingeniería Industrial. Para ello, teniendo en cuenta de que, si bien existen esquemas en la creación de lineamientos para la toma de decisiones, se propuso un esquema base el cual sigue ciertos pasos.

Es importante destacar que los pasos que se están proponiendo siguen una línea de tiempo en la cual se realizó la investigación, detallándose a continuación:

Paso 1: Análisis Bibliográfico.

Gestión de la Producción del Mantenimiento: Se indagó en base a los textos de ingeniería industrial el enfoque utilizado para el tratamiento del mantenimiento basado en confiabilidad.

Gestión del Mantenimiento: Revisión bibliográfica de libros de ingeniería mecánica que tratan el tema de la gestión del mantenimiento en maquinarias diesel, desde un punto de vista técnico el funcionamiento básico de los motores a inyección y turbocompresores que poseen la maquinaria bajo estudio.

Se revisaron catálogos referentes a los equipos bajo estudio.

Paso 2: Visitas a Terreno:

Se constató la operancia de los motores Caterpillar 3300, su funcionamiento y principales gestiones de mantenimiento en planta ASMAR Valparaíso, Finning S.A. Puerto Montt, toma de fotografías y datos específicos de la maquinaria.

Paso 3: Diagnóstico Situación Actual:

Análisis de antecedentes generales de la gestión de producción:

Departamento de Sistemas Navales: Se trabajó analizando dicho departamento encargado de la gestión de la Producción del Mantenimiento para los equipos de la Armada.

Finning S.A. : Proveedor de repuestos y principal ejecutor del mantenimiento mayor (overhaul).

ASMAR: Proveedor de mantenimiento menor.

Análisis FODA.

Paso 4: Definición de la Gestión de la Producción del Mantenimiento.

Integración de los términos básicos relacionados con el mantenimiento.

Paso 5: Revisión de Modelos de Mantenimiento.

Revisión de Metodología de Mantenimiento, importancia del mantenimiento en la línea productiva, Metodología basadas en la Confiabilidad.

Paso 6: Elección de un Modelo que se Ajuste al Caso.

Retorno de la revisión el modelo que sea aplicable en términos prácticos y sea de conveniencia para la Armada de Chile, tanto en términos económicos, como en disponibilidad de equipo.

Paso 7: Propuesta Modelo de Gestión del Mantenimiento

Caracterización de un modelo que proyecte la situación real, de modo coherente y que asegure el mejoramiento del actual modelo basado en catálogo.

Paso 8: Análisis Económico.

Análisis de costos, flujo de caja, Análisis del Valor Actual Neto.

Paso 9: Análisis de los Resultados.

Se analizan los resultados a la luz del retorno que entrega las pruebas realizadas.

3.2. Esquema De Trabajo

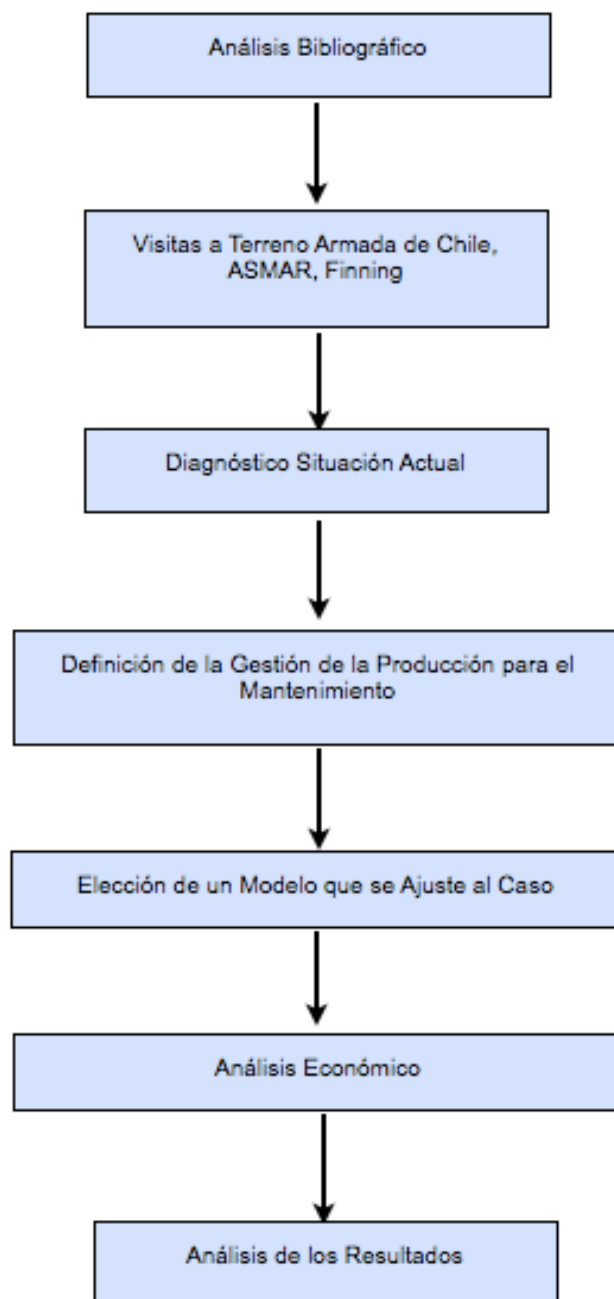


Figura 3.1. Esquema de Trabajo

Fuente: Elaboración Propia.

4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

4.1. Análisis FODA

De acuerdo a lo apreciado en el Departamento de Sistemas Navales, en particular en la división responsable de la gestión de la producción del mantenimiento se realizó un análisis FODA como herramienta primaria de reconocimiento.

ANALISIS INTERNO	ANALISIS EXTERNO
<u>Debilidades:</u> D1.- Falta de recursos económicos D2.- Organización D3.- Falta de capacitación D4.- Resistencia al Cambio D5.- Falta de Profesionales Ingeniero Civil Industrial, Ingeniero Mecánico. D6.- Toma de Decisiones centralizada. D7.- Sobremantenimiento D8.- Dependencia de empresas de mantenimiento. D9.- Carencia de Técnicas de Mantenimiento Preventivo. D10.- Despilfarro de recursos. D11.- Retraso Técnico. D12.- Falta de políticas de mantenimiento. D13.- Baja disponibilidad de equipo.	<u>Amenazas:</u> A1.- Verse obligado a realizar mantenimiento por avería. A2.- Ajuste presupuestario de la cartera.
<u>Fortalezas:</u> F1.- Maquinaria de excelente calidad. F2.- Orden en cartillas de mantenimiento F3.- Seguridad ofrecida por catálogo. F4.- Correcta entrega del Servicio. F5.- Actual sistema técnicamente funciona. F6.- ASMAR, como apoyo técnico. F7.- Conocimiento de la maquinaria.	<u>Oportunidades:</u> O1.- Importante ahorro de recursos económicos. O2.- Apoyos económicos por parte del gobierno O3.- Adaptar Políticas modernas de mantenimiento. O4.- Capacitar al personal de la Armada de Chile. O5.- Oportunidad de alianzas con Universidades. O6.- Invertir en Investigación y Desarrollo O7.- Posibilidad de mejora en la Gestión de la Producción del Mantenimiento. O8.- Avance en políticas de Gestión de la calidad y medio ambiente.

4.2. Análisis Técnico del Equipo

El reacondicionamiento de los motores Caterpillar, realizado cada 4.000 horas de operación, considera dentro de sus rutinas de mantenimiento, cambiar impulsores y rodamientos de las bombas, cambio de los inyectores, cambiar rodamientos del turbo cargador, reemplazar termostato, además de las inspecciones de cada uno de los componentes de las bombas de agua dulce, salada, turbocargador, bomba de inyección y sistema de lubricación. Estas acciones de mantenimiento se vuelven a ejecutar cuando se realiza el Overhaul del motor 2.000 horas después de haber realizado el segundo reacondicionamiento.

Coherente con lo expuesto anteriormente se analizaron los informes técnicos de los Overhaul realizados a los motores, a las 10.000 horas de operación, en donde se informa que las siguientes partes se encuentran sin observaciones y dentro de tolerancia:

- Cigüeñal.
- Bielas.
- Pasadores de pistón.
- Pistones y camisas.
- Tanques
- Culata
- Balanceadores
- Engranajes tren de transmisión
- Turbo cargado.
- Bomba de lubricación.
- Bomba de agua dulce.
- Bomba de agua salada.
- Enfriador de aceite.
- Enfriador de agua.
- Bomba inyectora.

Los únicos componentes que presentaron observaciones fueron los siguientes:

- Ejes de leva: grieta en zona de trabajo de camones.
- Eje balancines: grieta en zona de trabajo.

De acuerdo a la información extraída de los informes técnicos de los Overhaul y en base a las rutinas de mantenimiento efectuadas a las 4.000 y 8.000 horas de uso, se puede inferir que se puede reducir la frecuencia de overhaul de los motores Caterpillar de la serie 3.300, existiendo una clara oportunidad de mejora en el mantenimiento y en la optimización de los recursos. El

continuar con la ejecución de los overhaul a las 10.000 horas de operación, de acuerdo a lo especificado por el fabricante, genera a la organización un alto costo de mantenimiento al reemplazar componentes antes del cumplimiento de su vida útil y una baja disponibilidad del equipo debido al corto período de tiempo entre el segundo reacondicionamiento y el Overhaul, por ende se produce una discrepancia con el plan de mantenimiento recomendado por el fabricante. Finalmente los efectos de esta situación se traducen en baja disponibilidad de los equipos por intervenciones, presupuestos de repuestos elevados, sobremantenimiento, sintetizado en oportunidades de mejora en los recursos asignados al mantenimiento. En la figura 4.1 se muestra un resumen de lo señalado anteriormente.

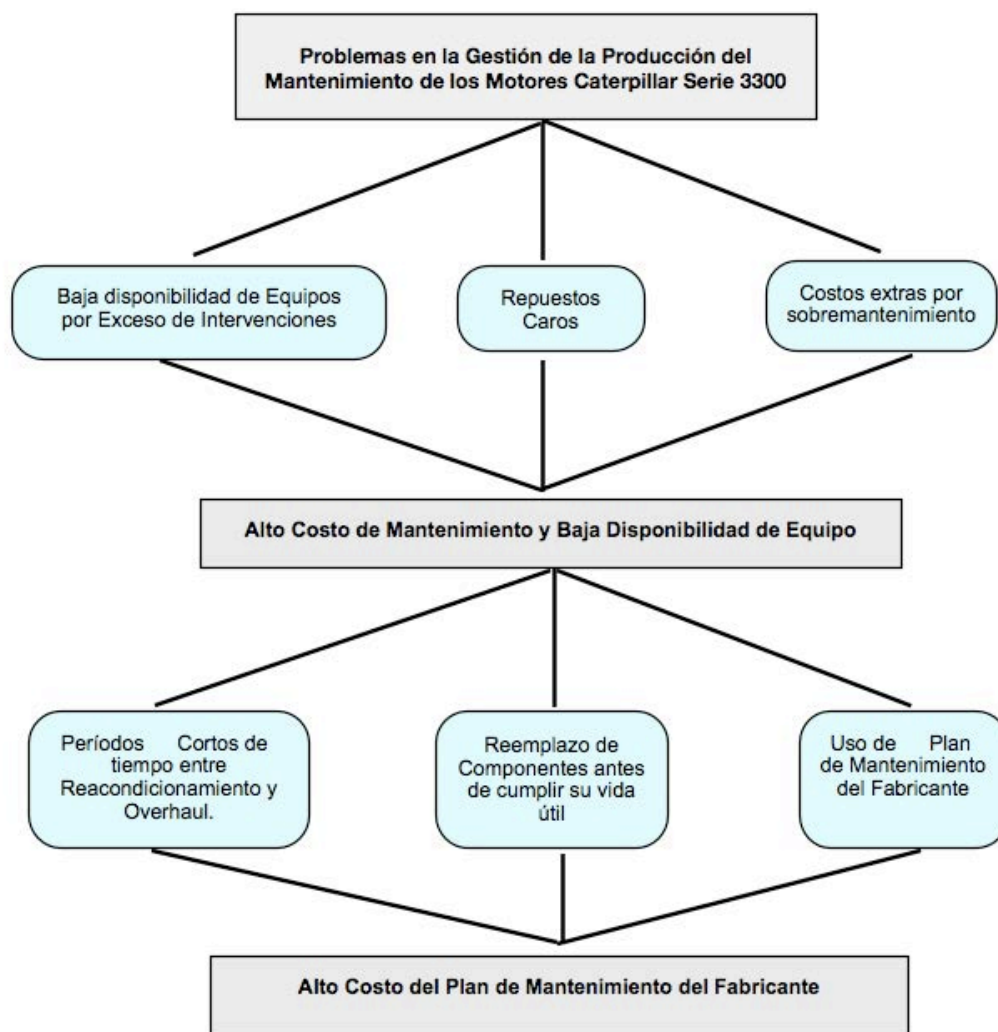


Figura 4.1. Árbol causa efecto
Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Niveles de Uso de Mantenimiento en Armada de Chile.

La Armada de Chile ha establecido cuatro Niveles de Mantenimiento, atendiendo a la profundidad, quién y dónde corresponde ejecutar las acciones señaladas. Ellos son:

Primer Nivel: Comprende todas las acciones que deben realizarse en forma frecuente y en cuya ejecución no son necesarios grandes apoyos técnicos en cuanto al factor humano y material. Se realizará por los mismos usuarios o mantenedores de los equipos.

Segundo Nivel: Abarca todas las actividades que deben realizarse con apoyo de personal calificado, instrumental, talleres o maestranza, del buque u otras reparticiones de tierra. Este apoyo también puede provenir de un Grupo de Apoyo específico, el cual puede ser humano o material.

Tercer Nivel: Agrupa todas las acciones que deben realizarse periódicamente y para las cuales la Unidad carece de la capacidad técnica, humana y/o material, por lo que deberá efectuarse total o parcialmente en un Astillero o maestranza institucional o civil.

Cuarto Nivel: Reúne todas las actividades de mantenimiento que se realizan periódica o eventualmente y, para su ejecución, los equipos deben remitirse ya sea al fabricante, a su representante ó a un servicio o maestranza autorizado por la Dirección Técnica competente.

4.4. Descripción del Actual Plan de Mantenimiento.

Actualmente el mantenimiento de los motores Caterpillar considera rutinas de mantenimiento de primer, segundo y tercer Nivel, en este proyecto se analizarán las rutinas de 3^{er} Nivel de Mantenimiento, realizadas cada 4.000 horas de uso y un Overhaul a las 10.000 horas de uso. Cabe destacar que la intervención a realizar en las rutinas de Overhaul trae consecuencias a los niveles inferiores, tanto en programación como en rutinas.

El mantenimiento cada 4.000 horas de uso contempla diversas acciones las cuales se detallan a continuación.

4.4.1. Reacondicionar Bomba de Agua Dulce y Auxiliar Salada del motor

El Reacondicionamiento de la bomba de agua dulce y auxiliar salada del motor debe efectuarse cuando el equipo cumpla las 4.000 horas de uso o cuando se evidencie una baja presión en la descarga o por resultados del análisis de vibraciones. Para efectuar el reacondicionamiento de la bomba de agua dulce se deben ejecutar las acciones que se indican en la tabla 4.1.

Acción de Mantenimiento	4.000 Hr.	8.000 Hr.
Efectuar prueba operacional y medición de vibraciones	✓	✓
Efectuar toda otra acción que se determine para diagnosticar el estado operativo del equipo	✓	✓
Desmontar bomba, colocar membrete de identificación y trasladar a taller.	✓	✓
Inspeccionar estructura de montaje y Corregir defectos si es necesario.	✓	✓
Desarmar bomba.	✓	✓
Inspeccionar, cambiar y calibrar por corrosión, deterioro, deflexión, descoloramiento, ralladuras, desgaste, etc., los siguientes componentes: Caja, impulsor, eje, rodamientos, tapa de la caja y prensa o sello.	✓	✓
Reparar o cambiar según necesidad elementos, piezas o componentes que estén en mal estado o fuera de tolerancia.	✓	✓
Efectuar otras acciones según estado de piezas o componentes del equipo.	✓	✓
Armar conjunto de la bomba. Trasladar a bordo y reinstalar en su calzo.	✓	✓
Efectuar prueba operacional, verificar resultados obtenidos y comparar con estándares de diseño.	✓	✓
Registrar resultados de las reparaciones y pruebas en el historial del equipo.	✓	✓

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.1. Reacondicionamiento de la bomba agua dulce y auxiliar salada del motor Caterpillar de la Serie 3.300

4.4.2. Reacondicionar Turbo Cargador

El reacondicionamiento del turbo cargador debe efectuarse cada 4.000 horas de uso y considera la ejecución de las acciones de mantenimiento indicadas en la tabla 4.2.

Acción de Mantenimiento	4.000 Hr.	8.000 Hr.
Efectuar prueba operacional.	✓	✓
Efectuar prueba de medición de impulsos de choque.	✓	✓
Efectuar otras acciones que se determinen para diagnosticar estado operativo del equipo.	✓	✓
Desmontar turbo cargador de su calzo.	✓	✓
Colocar membrete de identificación y trasladar a taller.	✓	✓
Desarmar turbo cargador.	✓	✓
Inspeccionar caja, turbina, eje turbina y compresor por corrosión, desgaste, ralladuras, picaduras, etc.	✓	✓
Inspeccionar y cambiar rodamiento por desgaste o descoloramiento.	✓	✓
Reparar o cambiar según necesidad elementos o piezas componentes en mal estado o fuera de tolerancia.	✓	✓
Efectuar otras acciones que se determinen, según estado del equipo, pieza o componente.	✓	✓
Armar tubo cargador, tomar claros axial y radial.	✓	✓
Trasladar a bordo. Reinstalar en su calzo original.	✓	✓
Efectuar prueba operacional en conjunto con astillero. Verificar y comparar resultados obtenidos con estándar de diseño.	✓	✓
Registrar resultados de las pruebas y reparaciones en el historial del equipo.	✓	✓

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2. Reacondicionamiento del turbo cargador del motor Caterpillar de la Serie 3.300

4.4.3. Reacondicionar Motor Diesel

Efectuar “Desarme Reacondicionamiento del Motor” (Overhaul) cada 10.000 horas de trabajo. Astillero deberá entregar los resultados de todas las pruebas efectuadas.

Antes de iniciar el reacondicionamiento se deben efectuar las siguientes acciones:

- Efectuar prueba operacional de equipo.
- Registrar presión, temperaturas y funcionamiento de los sistemas de vigilancia.
- Medir y registrar alineamiento y deflexión del eje cigüeñal, antes del desmonte o desarme del motor.

La reparación de los componentes consiste en: Desarme y limpieza general, limpieza química, inspección y calibramiento, pruebas no destructivas, reparar o cambiar según necesidad componentes que estén en mal estado o fuera de tolerancia, ensamblaje de los componentes, pruebas de los componentes (Prueba hidráulica y pruebas de banco).

Los componentes del motor a reparar son: Block del motor y camisas, tren de engranajes, cigüeñal, pistones, bielas y amortiguadores de vibraciones, tapas de cierre extremo libre del motor, culatas, sistema de distribución y eje camonal, gobernador o regulador del motor con su varillaje, varillaje de regulación, turbocompresor, sistema de admisión de aire y descarga de gases; interenfriador de aire de sobrealimentación, bomba de inyección y accesorios, sistemas de combustible, bombas de agua de enfriamiento y de agua salada, circuito de agua de enfriamiento, enfriadores y válvula termostática, bombas de aceite, circuito de aceite y enfriadores de aceite (válvula termostática si existe), sistema de accionamiento del tacómetro, sistema de arranque, sistema de soportado de motor, accionamiento del ventilador, aparatos de mando y regulación suplementarios, sistemas de vigilancia (temperatura, velocidad, sobrevelocidad, presiones), accesorios eléctricos, sistema de mando de motor sistema de acoplamiento y accesorios mecánicos otros mecanismos y accesorios.

Efectuado lo anterior se procederá a realizar los siguientes trabajos de reacondicionamiento indicados en la tabla 4.3.

Acción de Mantenimiento	10.000 Hr.
Efectuar desmonte o desarme general del motor.	✓
Trasladar motor o componentes a taller.	✓
Efectuar desarme y reacondicionamiento de los componentes del motor	✓
Efectuar ensamblaje del motor, según corresponda.	✓
Efectuar en taller ensayos en bancos de pruebas (rodaje del motor). Registrar y comparara resultados con los estándares de diseño.	✓
Trasladar el motor e instalar a bordo si corresponde.	✓
Medir alineamiento y deflexión al eje cigüeñal. Registrar datos.	✓
Efectuar prueba operacional en puerto y en la mar del motor.	✓
Registrar y comparar resultados con los estándares de diseño	✓
Registrar resultados de las pruebas y reparaciones efectuadas en el historial de equipo	✓

Tabla 4.3. Reacondicionamiento del motor Caterpillar Serie 3.300 a las 10.000 horas de operación
Fuente: Elaboración propia.

4.5. Servicio Actual De Los Motores

En lo operativo, los motores generadores son utilizados tanto a bordo como en tierra para la generación de energía eléctrica para las diversas necesidades que la Armada de Chile deba suplir.

La demanda actual es variable, sin embargo se aproxima a 8 Overhaul por año llegando a completar, de acuerdo al Sistema de Mantenimiento Planificado existente, 40 Overhaul en 5 años. Bajo la comprobación de la cartilla de mantenimiento correspondiente.

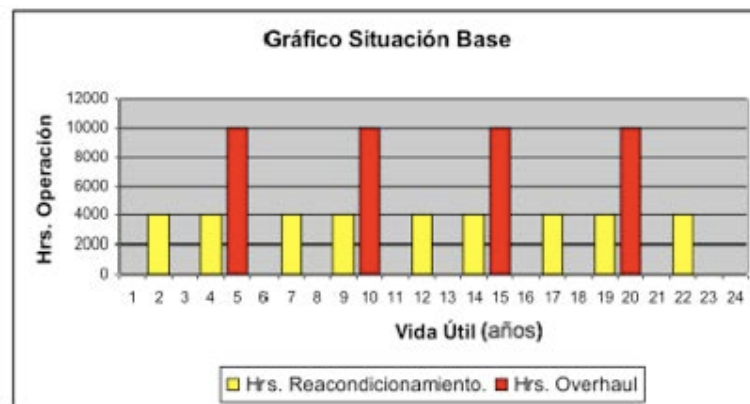


Figura 4.2 Demanda actual

Fuente: Elaboración propia

4.6. Costos Actuales Asociados al Mantenimiento.

La Armada de Chile posee un parque de 40 Motores Caterpillar de la Serie 3.300, diseminado a lo largo de todo el país y montados tanto en unidades de superficies como en establecimientos terrestres. Debido a que la totalidad de los equipos funcionan en contextos operacionales distintos, ya sea por su carga de trabajo, clima y geografía resulta difícil presupuestar y proyectar los costos por concepto de mantenimiento que requieren cada uno de ellos. Sin Embargo con los antecedentes de años anteriores se puede estimar estos costos aplicando la herramienta estadística regresión lineal, para proyectar los costos históricos con los antecedentes de años anteriores trabajados en Finning.

Aunque el Plan de Mantenimiento efectuado a los motores Caterpillar en estudio, cada 10.000 horas de operación, es el recomendado por el fabricante, y éste se ajusta a los recursos asignados al mantenimiento tanto humanos como materiales, existe la apreciación, por parte de la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales, que dicho plan puede ser mejorado. Esta apreciación se fundamenta principalmente en los análisis e informes técnicos realizados por los Astilleros y Maestranzas de la Armada a las piezas y partes inspeccionadas y reemplazadas en los Overhaul realizado a las 10.000 horas de operación.

En la actualidad la Armada debe planificar y ejecutar el mantenimiento a un total de 40 motores Caterpillar de la Serie 3.300, en esta planificación está considerado efectuar un Overhaul a los motores a las 10.000 horas de operación; de acuerdo a lo establecido en el plan de mantenimiento y lo sugerido por el fabricante el tipo de mantenimiento efectuado a estos equipos es el Mantenimiento Preventivo, inserto en un Sistema de Mantenimiento Planificado (SIMPLA). Este sistema de mantenimiento si bien es el utilizado, no ofrece conveniencia en términos operativos, obligando a la maquinaria detenerse antes de lo necesario, además esta aseveración se fundamenta en los reportes de los Overhaul (Infotec), elaborados por ASMAR, que señalan que las piezas reemplazadas a los motores se encuentran en buen estado de conservación.

La planificación de mantenimiento existente, está proyectada para toda la vida útil del equipo, en rigor 24 años, y contempla, de acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior efectuar Overhaul cada 10.000 horas de operación, aproximadamente cada 5 años, si se analiza este dato, se puede concluir que durante el ciclo de vida del equipo se realizan un total de 4 Overhaul.

El convenio firmado con Finning S.A. representante de la marca Caterpillar en Chile, se sustenta particularmente en la presencia de la compañía en prácticamente todo el territorio nacional, lo cuál otorga una ventaja en términos logísticos. Además cuentan con personal altamente calificado que realizan las tareas de mantenimiento en terreno, cuentan con repuestos originales y con laboratorios donde se realizan las pruebas antes mencionadas.

Los costos históricos de los últimos ocho años, desde la compra de la maquinaria, se resumen en la siguiente tabla, además se presenta la proyección para los años restantes de la vida útil del equipo.

Ciclo de Mantenimiento	Overhaul por Año	Costo Mano de Obra \$	Costo Repuestos \$	Costo Overhaul \$
Año 1	8	13.277.473	73.980.951	87.258.424
Año 2	8	13.758.884	76.663.332	90.422.216
Año 3	8	14.284.095	79.589.761	93.873.856
Año 4	8	15.147.014	84.397.874	99.544.888
Año 5	8	15.339.578	85.470.822	100.810.400
Año 6	8	15.265.370	85.057.342	100.322.712
Año 7	8	15.829.478	88.200.506	104.029.984
Año 8	8	15.993.600	89.114.976	105.108.576
Año 9	8	16.603.128	92.511.217	109.114.345
Año 10	8	16.990.060	94.667.166	111.657.226
Año 11	8	17.376.991	96.823.116	114.200.107
Año 12	8	17.763.923	98.979.065	116.742.988
Año 13	8	18.150.854	101.135.014	119.285.868
Año 14	8	18.537.786	103.290.964	121.828.749
Año 15	8	18.924.717	105.446.913	124.371.630
Año 16	8	19.311.649	107.602.862	126.914.511
Año 17	8	19.698.580	109.758.811	129.457.391
Año 18	8	20.085.512	111.914.761	132.000.272
Año 19	8	20.472.443	114.070.710	134.543.153
Año 20	8	20.859.375	116.226.659	137.086.034
Año 21	8	21.246.306	118.382.609	139.628.915
Año 22	8	21.633.237	120.538.558	142.171.795
Año 23	8	22.020.169	122.694.507	144.714.676
Año 24	8	22.407.100	124.850.456	147.257.557

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.4. Resumen de costos de Overhaul de los motores Caterpillar de la Serie 3.300, de la situación base.

Cabe señalar que cronológicamente se tienen ciclos de mantenimiento los cuales no necesariamente coinciden con la provisión contable realizada por la Dirección de Sistemas Navales, de manera que el convenio firmado considera dicho evento y divide en pagos año por año. Las maquinarias fueron adquiridas a través de Finning S.A.

Los plazos de garantía no forman parte del análisis ya que la maquinaria fue adquirida el año 2001. Por parte de Caterpillar existe garantía de un año, fuera de dicho plazo se debe costear por parte del propietario toda reparación y/o mantenimiento que requiera el equipo.

4.7. Mercado de Servicios de Mantenimiento

En la actualidad las empresas que proporcionan el servicio de Overhaul a los motores Caterpillar, en uso en la Armada, son ASMAR, con sus plantas reparadoras de Valparaíso, Talcahuano y Punta Arenas, y la empresa Finning, representante de los motores Caterpillar en Chile, la razón por la cual la Institución realiza este mantenimiento con estas dos empresas se debe principalmente porque ASMAR solamente puede atender los requerimientos en las zonas geográficas donde tiene presencia, como este tipo de motores se encuentra instalado en Unidades y Reparticiones distribuidas a lo largo de todo el país, los requerimientos de Overhaul no cubiertos por ASMAR son satisfechos por la empresa Finning. Además de las empresas mencionadas, existen otras que brindan este servicio tales como: Turbodal S.A., JR. Ingeniería, E.I.R. Electromecánica Ltda., ME Maintenance Engineering Chile Group, Marine Engine Service Chile, Master Power Diesel Ltda. entre otras. En términos generales se aprecia que el mercado se encuentra cubierto debido a la variedad de empresas que suministran este servicio.

4.7.1. Oferta de Servicios de Mantenimiento.

Uno de los factores condicionantes de la oferta futura puede ser las catástrofes naturales, este factor puede intervenir por ejemplo en que las empresas de las zonas perjudicadas estén estudiando la posibilidad de adquirir sistemas de respaldo del suministro de la energía eléctrica para que en el eventual caso que se repitiera esta situación puedan enfrentar la emergencia con mejor preparación. Se estima que este nuevo escenario modificaría lo existente en materia de la oferta y la demanda presente, por lo tanto se prevé que aumentará la demanda por los equipos generadores de electricidad y en base a estas proyecciones se aprecia que la oferta por el servicio aumentará.

4.7.2. Demanda de Servicios de Mantenimiento.

La actual demanda de servicios de mantenimiento y de acuerdo a lo anteriormente mencionado permanece constante, es decir, son 40 unidades los motores a realizar mantenimiento mayor y por

lo tanto el comportamiento del mercado no sufre inestabilidad, esto significa, de acuerdo a su comportamiento histórico, este ha mantenido su tendencia en los últimos años, sin embargo frente a los posibles escenarios, catástrofes naturales y todo tipo de eventualidades que requieran de la adquisición de un equipo de generación de corriente conseguirían cambiar el actual escenario.

5. RESULTADOS

5.1. Metodología RCM.

Se Elige la Metodología RCM ya que puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario habitual hasta un 40 por ciento, incluso en algunos casos hasta un 70 por ciento. Se puede aplicar para desarrollar un Plan de Mantenimiento Predictivo, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que el mantenimiento planificado. Además su lenguaje técnico es accesible, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al proceso RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas de mantenimiento actuar acorde a lo esperado por dicha metodología.

El propósito de monitorear el motor utilizando la metodología RCM es analizar mediante esta herramienta cuales son los modos de fallas que pudiesen forzar un Overhaul no programado. Usando esta herramienta e identificando estos modos de fallas se pueden confeccionar acciones de mantenimiento para remediar lo anterior. Es importante efectuar este análisis debido a que de no ser así, no es posible implementar un sistema de mantenimiento predictivo que permita monitorear la extensión del período entre Overhaul de estos motores, por el contrario al eliminar los modos de falla que se detecten el análisis entrega una condición de confiabilidad al equipo y por lo tanto cualquiera medida que se tome para monitorear su funcionamiento será efectiva.

Para efectuar un buen análisis RCM debemos contestar cada una de las preguntas que esta metodología plantea y posteriormente traspasar esta información a dos hojas, llamadas hoja de información y hoja de decisión.

5.1.1. Hoja de Información

En la hoja de información se desarrollan las siguientes preguntas, asociadas a diferentes secciones que esta hoja contempla:

- ¿Cuáles son las funciones? (¿Qué quiere el usuario que haga?): Se enuncia cada función con un verbo infinitivo (ar, er, ir), posteriormente se lista todas las funciones primarias del equipo, en el caso de los motores Caterpillar de la serie 3.300 se definieron cuatro funciones asociadas cada una a los sistemas principales del motor: ser capaz de mantener una presión de lubricación mayor a 3,5 bar, ser capaz de mantener la temperatura del motor hasta los 100°C, ser capaz de proporcionar la relación aire/Combustible del motor y ser capaz de suministrar combustible limpio al motor.

- ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?: El desarrollo de esta parte está relacionado con la función se señala la pérdida de la función, para el caso estudiado la respuesta de esta pregunta es: no es capaz de mantener una presión de lubricación superior a 3,5 bar, no es capaz de mantener la temperatura del motor hasta los 100°C, no es capaz de proporcionar la relación Aire/Combustible del motor y finalmente no es capaz de suministrar combustible limpio al motor.
- ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?: en esta sección se listan los modos de fallas que razonablemente sean causantes de la pérdida de función enunciado en el párrafo anterior. Un modo de falla es cualquier evento que causa una falla funcional Ejemplo: en la falla funcional no es capaz de mantener una presión de lubricación superior a 3,5 bar, uno de los modos de falla será rotura del circuito por vetustez.
- ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?: la respuesta de esta pregunta determina los efectos que se tendrían si nada fuese hecho para intentar prevenir el modo de falla.

En el Anexo A se muestra el análisis desarrollado en la hoja de información para los motores Caterpillar de la serie 3.300, de acuerdo a lo explicado anteriormente.

5.1.2. Hoja de Decisión

La hoja de decisión permite establecer las respuestas a las preguntas formuladas en los diagramas de decisión 5.1; 5.2 y en función de dichas preguntas registrar que mantenimiento será realizado, con qué frecuencia se realizará y quién lo hará, que fallas son las suficientemente serias para justificar el rediseño y finalmente los casos en que se toma la decisión de dejar que el equipo falle.

Las últimas tres preguntas que conforman el análisis RCM y que permitirán confeccionar la hoja de decisión son:

- ¿En qué sentido es importante cada falla?: para la respuesta a esta pregunta se evalúa las consecuencias de la falla y se resumen las cuatro preguntas realizadas en el punto 6.2.2. La evaluación de las consecuencias se realiza en estrecha colaboración con el personal de producción/operación para determinar si las fallas tienen Consecuencias de Fallas Ocultas, Consecuencias para la Seguridad o el Medio Ambiente, Consecuencias Operacionales y Consecuencias no Operacionales, establecidas en el diagrama de decisión 5.1.
- ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?: se selecciona las rutinas de mantenimiento que traten adecuadamente cada modo de falla y sus consecuencias, en esta parte se debe asegurar que las rutinas de mantenimiento se enfoquen en el criterio de “merecer la pena” tanto como en la factibilidad técnica.
- ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?: finalmente en este caso se debe seleccionar una apropiada tarea “a falta de”, asegurándose que la conclusión

de ningún mantenimiento preventivo sea solamente cuando no haya respuesta a las preguntas detalladas en los códigos H5, O3 y N3 del diagrama de decisión.

CONSECUENCIAS DEL FALLO OCULTO

CONSECUENCIAS PARA LA SEGURIDAD O EL MEDIO AMBIENTE

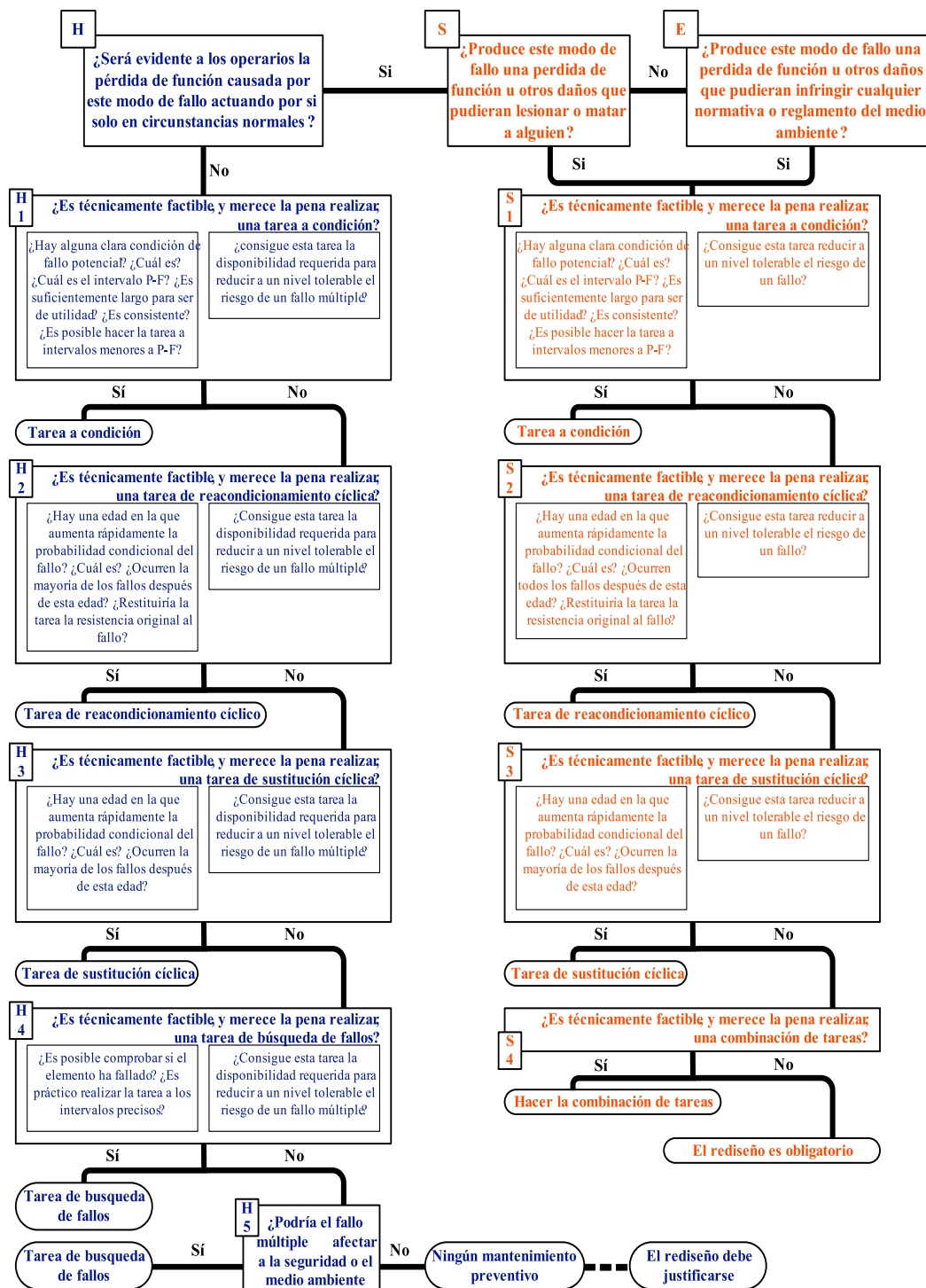


Figura 5.1. Diagrama de decisión

Fuente: Elaboración Propia

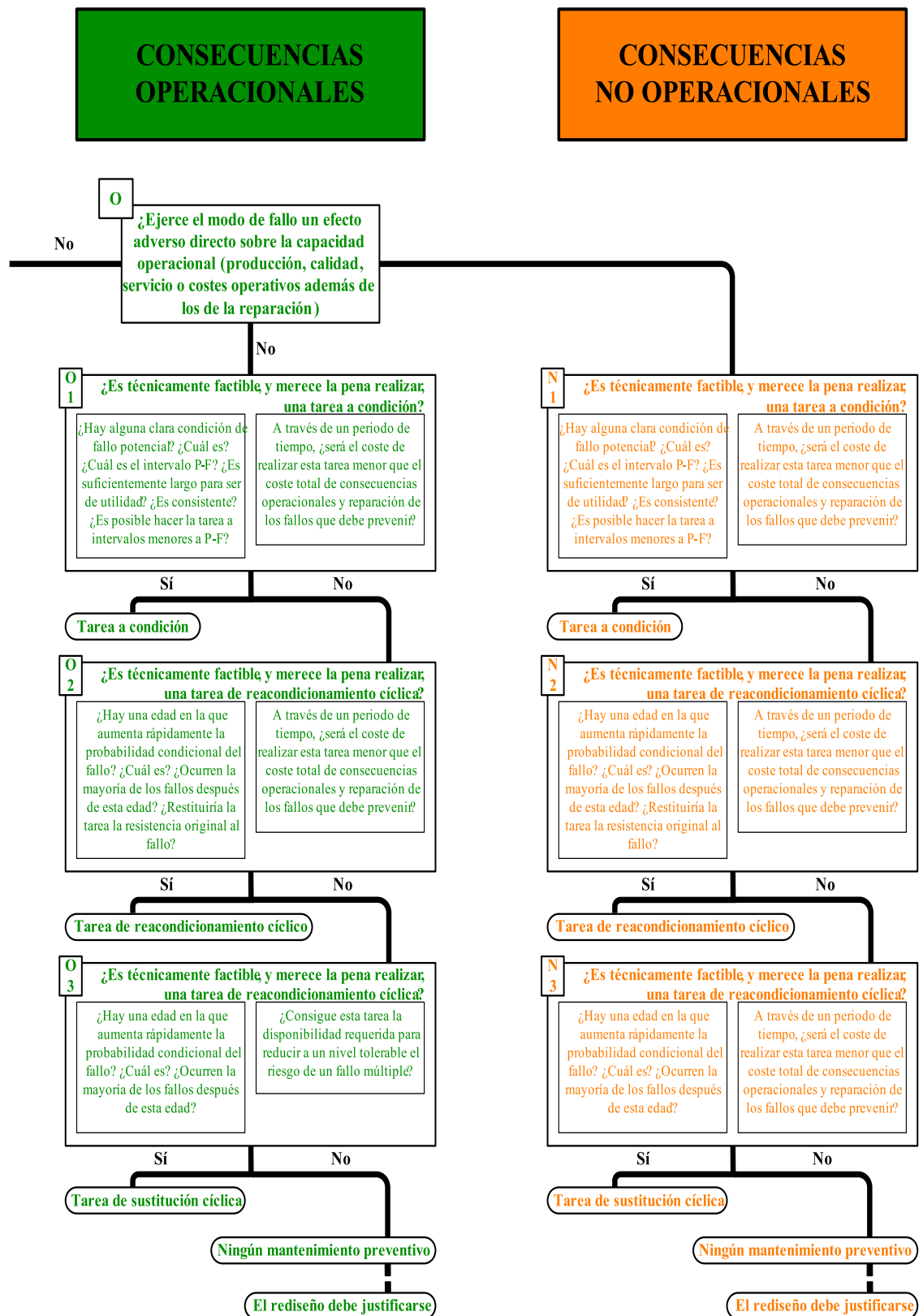


Figura 5.2. Diagrama de Decisión

Fuente: Elaboración Propia

5.1.3. Plan de Mantenimiento

Con los datos obtenidos de los análisis registrados en la Hoja de Información y la hoja de Decisión, se confecciona un plan de mantenimiento que sirve para complementar el plan existente para este tipo de motores. Las acciones de mantenimiento emanadas del análisis entregan confiabilidad al equipo y por consiguiente, éste se encuentra en condiciones de que se implemente mantenimiento predictivo. La implementación del mantenimiento predictivo tiene como propósito monitorear la decisión de extender el período entre Overhaul, esta decisión se fundamenta principalmente en el hecho de que los componentes principales del motor no han alcanzado el término de la vida útil, al momento de ser reemplazados, esta situación se origina porque el mantenimiento efectuado actualmente corresponde a un mantenimiento por catálogo, procediendo de esta condición la optimización insuficiente de los recursos humanos y materiales. A Continuación se muestra las tablas que contienen las acciones de mantenimiento que se derivaron del análisis RCM.

Sistema	Tarea	Frecuencia	Especialista
1. Sistema de Lubricación	Efectuar rondas durante períodos de operación, objeto verificar filtraciones en juntas del Cáster.	Cada 1 hora.	Mecánico
	Efectuar análisis de aceite y gases	100 Hr.	Mecánico
	Efectuar reemplazo cíclico del filtro de combustible.	250 Hr.	Mecánico
	Efectuar supervisión del montaje de los inyectores y evaluar destreza técnica y teórica del mecánico.	3 Meses	Supervisor de Área.
	Efectuar reemplazo cíclico a resorte de la válvula reguladora de presión.	4.000 Hr.	Mecánico
	Efectuar pruebas de presión al circuito, reemplazando juntas dañadas y circuitos defectuosos.	4.500 Hr.	Mecánico
	Comparar presión y caudal en diferentes partes del circuito.	5.000 Hr.	Mecánico
1. Sistema de Enfriamiento	Verificar estado de circuitos, presión, temperatura y nivel de agua de refrigeración.	Cada 1 hora	Supervisor de Área.
	Supervisar la confección de la mezcla y efectuar análisis de agua.	Mensual	Supervisor de Área.
	Efectuar inspección y limpieza de filtros de agua de mar si amerita.	C/ 15 Días	Mecánico
	Verificar rendimiento de la bomba de agua de mar.	350 Hr.	Supervisor de Área.
	Efectuar inspección a los ánodos de sacrificio y reemplazar cuando desgaste sea superior al 25%.	400 Hr.	Mecánico
	Verificar eficiencia del intercambiador de calor, si baja del 90%, efectuar limpieza.	400 Hr.	Mecánico
	Efectuar reemplazo cíclico de válvula termostática.	4.000 Hr.	Mecánico
	Efectuar reemplazo cíclico a impulsor de la bomba de agua salada.	6.000 Hr.	Mecánico

Tabla 5.1. Rutinas de mantenimiento del sistema de lubricación y enfriamiento

Fuente: Elaboración propia

Sistema	Tarea	Frecuencia	Especialista
1. Sistema de Admisión y Escape de Aire	Verificar presión de aceite y temperatura del turbo durante su funcionamiento. Supervisor de Área..	Cada 1 hora.	Supervisor de Área.
	Efectuar inspección visual antes de la puesta en marcha y controlar la presión de la entrada de aire.	A Requerimiento	Mecánico
	Efectuar limpieza del filtro de aire.	200 Hr.	Mecánico
	Efectuar reacondicionamiento cíclico del enfriador de aire.	20.000 Hr.	Mecánico
	Efectuar reacondicionamiento cíclico del colector de escape.	28.000 Hr.	Mecánico
1. Sistema de Combustible	Efectuar análisis de combustible.	100 Hr.	Mecánico
	Efectuar inspección y limpieza de filtros de combustible si amerita.	250 Hr.	Mecánico
	Verificar calibramiento de inyectores.	2.000 Hr.	Mecánico
	Efectuar inspección y revisión de válvula reguladora	4.000 Hr.	Mecánico
	Efectuar pruebas de presión y reemplazar cañerías defectuosas.	5.000 Hr.	Mecánico
	Efectuar pruebas de banco a la bomba inyectora.	12.000 Hr.	Mecánico

Tabla 5.2. Rutinas de mantenimiento del sistema de admisión, escape y combustible

Fuente: Elaboración propia

Los principios de la metodología RCM fundamentan la generación de una alternativa al actual plan de mantenimiento, de esta forma se alcanzará el principal objetivo del presente proyecto que es la generación de una propuesta de gestión de la producción del mantenimiento para extender el período entre mantenimiento mayor (overhaul), de los motores Caterpillar de la Serie 3.300.

Cabe destacar que la Tabla 5.1. y Tabla 5.2. fueron elaboradas en conjunto con el personal de Finning considerando los consejos del fabricante y la disponibilidad de técnicos y mecánicos de la Armada de Chile.

Si bien se puede apreciar una frecuencia exhaustiva en el plan de mantenimiento, esto se da cuando los equipos están en funcionamiento y el horómetro indicador de cada equipo lo precise.

La propuesta de mantenimiento en sí busca comprometer al técnico mecánico de la Armada en cuidar la maquinaria y cambiar componentes antes de producirse la avería de éste modo acercarse a la filosofía perseguida.

5.2. Propuesta de Extensión de Ciclos de Overhaul

Si ponemos un caso hipotético de ser propietarios de un vehículo, en el cual se realizan los mantenimientos rutinarios, ya sean cambios de aceite, cambio de neumáticos según las normas del tránsito establecidas, mantenimiento al sistema de frenos etc. Sin que exista la necesidad, es muy probable que nunca cambiemos el parabrisas porque es tan obvio que no se necesita otro debido a que el actual está en perfectas condiciones. De igual forma, aunque el ejemplo anterior sea un caso burdo, no se aleja mucho de la realidad que presenta el actual plan de mantenimiento. Como anteriormente se expuso, la presente propuesta de extensión de ciclos de overhaul nace en el contexto de los resultados obtenidos en las pruebas de análisis realizadas por ASMAR y Finning S.A. Ya que se reemplazaron una serie de repuestos, que se conservaban en buenas condiciones.

Al desarrollar esta propuesta se mejorará el uso de las piezas y partes del motor hasta el término de su vida útil, permitiendo mayor disponibilidad de equipo, acarreado con ello beneficios operativos a la Armada, debido a la extensión de los períodos entre Overhaul. Asimismo la propuesta conseguirá ahorrar recursos humanos, materiales y financieros al disminuir el stock de repuestos y eliminar el sobremantenimiento, situación que se pronostica tenga un significativo impacto en el sostenimiento logístico. Además la implementación de las técnicas de mantenimiento predictivo permitirá a la institución a mantener personal calificado en sus filas cuyo beneficio será un servicio mucho más profesional en lo técnico.

Se estima que al monitorear el funcionamiento del motor mediante técnicas de mantenimiento predictivo se podrá establecer el tiempo adecuado en que se debe efectuar el Overhaul, aprovechando de mejor forma los componentes del motor hasta el término de la vida útil. Al extender el período de uso de los componentes también se está alargando el periodo entre Overhaul, si se considera que antes de efectuar este mantenimiento se efectúa un reacondicionamiento de sus elementos críticos cada 4.000 horas, perfectamente se puede inferir que el período entre Overhaul se puede extender de las 10.000 a las 12.000 horas, si se logra esta extensión en 2000 horas se disminuye de 4 a 3 Ciclos de Mantenimiento, asimismo

estadísticamente también se disminuiría la cantidad de Overhaul por año de 8 a 6 y 7 en algunos casos, además la disponibilidad del equipo también se verá beneficiada, debido a que la disminución del ciclo de mantenimiento a lo largo de la vida útil del equipo significa aumentar la disponibilidad de éste de 90,9 por ciento a 92,3 por ciento, lo cual es equivalente a 12.264 horas, 307 horas adicionales por equipo.

El cumplimiento de la totalidad de los objetivos de la propuesta de mejora retornará los beneficios de disminución de Stock de repuestos, disminución de intervenciones, ahorro.

Entre las diversas reuniones realizadas por quien suscribe en conjunto con personal de Finning S.A. se sabe de clientes que realizan overhaul de estas maquinarias hasta las 20.000 horas, no existiendo mayores inconvenientes, como el negocio es la venta de repuestos normalmente se juega con el temor de los propietarios y la probabilidad de que el equipo falle en el momento menos propicio, aunque se sabe que estos motores son de excelente calidad, con esos antecedentes resulta totalmente plausible un aumento en las horas entre cada ciclo de mantenimiento overhaul.

Se decide optar por 12.000 horas, principalmente por la seguridad que debe tener la maquinaria instalada a bordo, además por la coincidencia del reacondicionamiento cada 4.000 horas, de esta forma se es precavido y también se ajusta al plan de mantenimiento propuesto.

El siguiente gráfico explicativo muestra lo mencionado tanto para mantenimiento reacondicionamiento de sus elementos críticos, como overhaul.



Figura 5.3. Histograma de mantenimiento.

Fuente: Elaboración Propia

5.3. Mantenimiento Predictivo Propuesto.

Como antes se mencionó el mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el momento preciso de la ocurrencia de una falla en un componente de una maquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

Las técnicas mantenimiento predictivo propuesto para monitorear el comportamiento de los componentes críticos en la extensión del período entre Overhaul de los motores Caterpillar de la serie 3.300, serán el análisis de aceite, análisis AT 1-2, corte de filtro e inspección de tapones.

5.4. Frecuencia de Inspecciones.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, se ha llegado a la conclusión que es factible extender el período entre Overhaul de los motores Caterpillar de la Serie 3.300 de las 10.000 horas a las 12.000 horas de operación, sin embargo esta decisión puede ser tomada siempre y cuando exista un sistema de monitoreo que permita controlar y evaluar la condición de funcionamiento de cada equipo después de las 10.000 horas de uso. De acuerdo a lo anterior se sugiere implementar las técnicas de mantenimiento predictivo antes propuestas.

Según lo señalado en el párrafo anterior las frecuencias de monitoreo por condición fueron planificadas para observar las condiciones de funcionamiento del motor a partir de las 10.000 horas de operación con el propósito de contar con antecedentes técnicos para evaluar el instante en que es necesario efectuar el Overhaul de los motores Caterpillar de la Serie 3.300, en la siguiente tabla se muestran las frecuencias de inspección de acuerdo a cada técnica de mantenimiento predictivo.

	1° Ciclo				2° Ciclo				3° Ciclo			
Técnicas de Mantenimiento Predictivo	10000 Hr.	Después de las 10.000 Cada 250 Hr. Hasta Overhaul.	11000 Hr.	Overhaul	22000 Hr.	Después de las 22.000 Cada 250 Hr. Hasta Overhaul.	23000 Hr.	Overhaul	34000 Hr.	Después de las 34.000 Cada 250 Hr. Hasta Overhaul.	35000 Hr.	Overhaul
Análisis de aceite		X				X				X		
AT-1	X		X		X		X		X		X	
AT-2	X				X				X			
Corte de Filtro		X				X				X		
Inspección de tapones		X				X				X		

Tabla 5.3. Resumen Inspecciones.

Fuente: Elaboración propia

5.5. Evaluación de la Propuesta.

Esta propuesta considera efectuar una evaluación técnico-económica al mantenimiento de 3° Nivel realizado actualmente a todos los Motores Caterpillar de la Serie 3.300, utilizados por las diferentes Unidades y Establecimientos de la Armada, con el propósito de establecer acciones y procedimientos que permitan mejorar las condiciones actuales. Se considera un total de 40 motores que se sugiere extender el período entre Overhaul, se ha estimado que esta medida contempla efectuar, anualmente, Overhaul a aproximadamente 7 equipos. Además se evaluará la implementación de Técnicas de Mantenimiento Predictivo que permitan monitorear e indicar el momento apropiado de la ejecución de los Overhaul, considerando para ello las variables de carga de trabajo y contexto operacional. Esta implementación obliga a contar con instrumental y personal altamente calificado en técnicas de mantenimiento predictivo. Para satisfacer esta necesidad se ha considerado ocupar el personal y el instrumental existente en la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales.

5.5.1. Impactos de la Propuesta.

El desarrollo de este proyecto acarreará beneficios técnicos y económicos en los Planes de Sosténimiento Logísticos de la Armada:

- En términos económicos: El extender el período entre Overhaul producirá un importante ahorro de recursos, tanto humanos como materiales, por concepto de mantenimiento, uso de piezas y partes hasta el término de su vida útil y mayor disponibilidad del equipo.
- En lo técnico: Esta medida permitirá disminuir los ciclo de mantenimiento de 3° Nivel, durante el ciclo de vida del equipo, coherente con esto, al reducir las intervenciones del equipo se eliminarán también las probabilidades de que el equipo falle en su etapa post Overhaul.

Debido a que se postula modificar las acciones de mantenimiento propuestas por el fabricante, este proyecto tendrá un impacto en la planificación y programación del mantenimiento, asimismo se pretende cambiar el mantenimiento por catálogo del equipo por la implantación del Mantenimiento Predictivo. Este cambio conlleva la implementación de sistemas de diagnóstico que requieren de instrumental especializado y mano de obra altamente especializada, que de acuerdo a lo mencionado en los puntos anteriores, este requerimiento sería satisfecho por el personal y el equipamiento existente en la Dirección de Ingeniería de Sistemas Navales.

5.5.2. Estructura de Costos de la Propuesta

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los costos asociados al Overhaul de la situación con la aplicación de la propuesta, durante todo el ciclo de vida de los motores Caterpillar de la Serie 3.300:

Ciclo de Mantto	Overhaul Año	Costo Mano de Obra CLP	Costo Repuestos CLP	Costo mano de Obra y Repuestos	Ahorro Disponibilidad (\$)	Costo Total (\$)
Año 1	6	9.958.105	55.485.713	65.443.818	11.147.263	54296555
Año 2	6	10.319.163	57.497.499	67.816.662	11551438	56265224
Año 3	7	12.498.583	69.641.041	82.139.624	13991116	68148508
Año 4	7	13.253.637	73.848.140	87.101.777	14836336	72265441
Año 5	7	13.422.131	74.786.969	88.209.100	15024950	73184150
Año 6	7	13.357.199	74.425.174	87.782.373	14952264	72830109
Año 7	6	11.872.109	66.150.379	78.022.488	13289830	64732658
Año 8	6	11.995.200	66.836.232	78.831.432	13427621	65403811
Año 9	7	13.411.412	74.727.247	88.138.659	15012952	73125707
Año 10	7	13.706.278	76.370.214	90.076.492	15343029	74733463
Año 11	7	14.001.144	78.013.182	92.014.326	15673107	76341219
Año 12	7	14.296.010	79.656.149	93.952.159	16003184	77948975
Año 13	6	14.590.876	81.299.117	95.889.992	16333262	79556730
Año 14	6	14.885.741	82.942.084	97.827.826	16663340	81164486
Año 15	7	15.180.607	84.585.052	99.765.659	16993417	82772242
Año 16	7	15.475.473	86.228.019	101.703.492	17323495	84379997
Año 17	7	15.770.339	87.870.987	103.641.326	17653573	85987753
Año 18	7	16.065.205	89.513.954	105.579.159	17983650	87595509

Tabla 5.4. Resumen de costos de Overhaul de los motores Caterpillar de la Serie 3.300, de la situación con la aplicación de la propuesta.

Fuente: Elaboración propia

5.5.3. Evaluación Económica de la Propuesta de Mejora

Para conocer los beneficios económicos de la propuesta es necesario realizar un análisis comparativo de modo de medir las ventajas que ofrece la propuesta de mejora en extender el período de overhaul, primero considerando la vida útil de cada plan. En el actual plan de mantenimiento, los costos asociados están proyectados a 24 años, y en la propuesta están considerados 18 años; al tener diferente vida útil se debe calcular el mínimo común múltiplo de los

años y proyectar los costos de manera cíclica hasta completar, en este caso los 72 años. De esta forma se obtienen los siguientes sumas de los períodos:

Costo Actual (\$)	Costo Propuesta (\$)
8.330.438.819	5.156.330.148

Tabla 5.5. Resumen de Costos Para Igual Vida Útil

Fuente: Elaboración Propia.

Se adjunta en ANEXO D el resumen de precios y valores estimados.

En el gráfico de histograma se puede observar la diferencia entre ambos costos, considerando un período de 72 años.

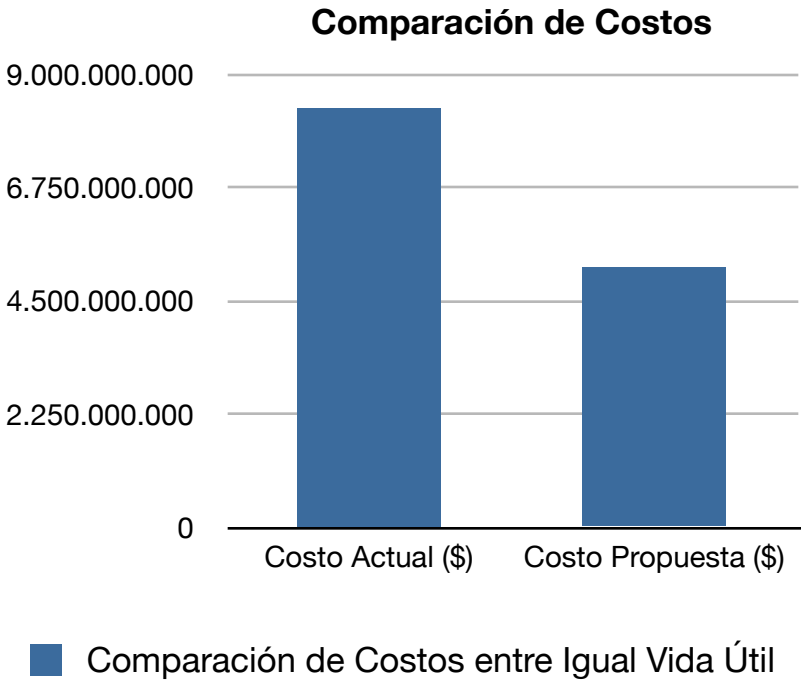


Figura 5.5. Comparación de Costos entre igual Vida Útil

Fuente: Elaboración Propia.

5.5.4. Indicadores Utilizados en la Evaluación Económica de la Propuesta

Este proyecto, por tratarse de una mejora al mantenimiento de equipos que pertenecen a una entidad estatal, cobra vital importancia que los beneficios que se obtengan, producto de su implementación, sean mayores a los costos involucrados en la mejora y por ende, merezca la pena efectuar la modificación a la situación de mantenimiento actual.

De esta forma se utilizará el análisis del Valor Presente de Alternativas con Vidas Diferentes. Usando el enfoque del Mínimo Común Múltiplo a una tasa de descuento de un 8 por ciento, considerando un valor de salvamento de un 10 por ciento, se obtiene:

VAN Costo Actual (\$)	VAN Costo Propuesta (\$)
1.358.075.833	879.159.456

Tabla 5.6. Resumen VAN Alternativas con Vidas Diferentes.

Fuente: Elaboración Propia.

Por lo tanto se elige la propuesta debido a que el VAN es menor que el actual.

Usando el enfoque de longitud n años para comparación, o enfoque de horizonte de planeación, con n= 16 años.

VAN Horizonte Planeación n=16	VAN Horizonte Planeación n=16
-\$873.529.967	-\$572.013.967

Tabla 5.7. Comparación de VAN horizonte de planeación n=16 años

De igual manera se observa que la propuesta es mas conveniente que el modelo actual.

5.5.5. Ahorro

En este apartado se calculó la diferencia entre los flujos de efectivo del modelo actual menos la propuesta de mejora, luego al nuevo flujo de efectivo se procedió a calcular el VAN:

Período	Costo Actual CLP	Costo Propuesta	Diferencia	Tasa de descuento
Año 1	87.258.424	54296555	32.961.869	8%
Año 2	90.422.216	56265224	34.156.992	
Año 3	93.873.856	68148508	25.725.348	
Año 4	99.544.888	72265441	27.279.447	
Año 5	100.810.400	73184150	27.626.250	
Año 6	100.322.712	72830109	27.492.603	
Año 7	104.029.984	64732658	39.297.326	
Año 8	105.108.576	65403811	39.704.765	
Año 9	109.114.345	73125707	35.988.638	
Año 10	111.657.226	74733463	36.923.763	
Año 11	114.200.107	76341219	37.858.888	
Año 12	116.742.988	77948975	38.794.013	
Año 13	119.285.868	79556730	39.729.138	
Año 14	121.828.749	81164486	40.664.263	
Año 15	124.371.630	82772242	41.599.388	
Año 16	126.914.511	84379997	42.534.514	
Año 17	129.457.391	85987753	43.469.638	
Año 18	132.000.272	87595509	44.404.763	
Año 19	134.543.153	54296555	80.246.598	
Año 20	137.086.034	56265224	80.820.810	
Año 21	139.628.915	68148508	71.480.407	
Año 22	142.171.795	72265441	69.906.354	
Año 23	144.714.676	73184150	71.530.526	
Año 24	147.257.557	72830109	74.427.448	
Año 25	87.258.424	64732658	22.525.766	
Año 26	90.422.216	65403811	25.018.405	
Año 27	93.873.856	73125707	20.748.149	
Año 28	99.544.888	74733463	24.811.425	
Año 29	100.810.400	76341219	24.469.181	
Año 30	100.322.712	77948975	22.373.737	
Año 31	104.029.984	79556730	24.473.254	
Año 32	105.108.576	81164486	23.944.090	
Año 33	109.114.345	82772242	26.342.103	

Año 34	111.657.226	84379997	27.277.229	
Año 35	114.200.107	85987753	28.212.354	
Año 36	116.742.988	87595509	29.147.479	
Año 37	119.285.868	54296555	64.989.313	
Año 38	121.828.749	56265224	65.563.525	
Año 39	124.371.630	68148508	56.223.122	
Año 40	126.914.511	72265441	54.649.070	
Año 41	129.457.391	73184150	56.273.241	
Año 42	132.000.272	72830109	59.170.163	
Año 43	134.543.153	64732658	69.810.495	
Año 44	137.086.034	65403811	71.682.223	
Año 45	139.628.915	73125707	66.503.208	
Año 46	142.171.795	74733463	67.438.332	
Año 47	144.714.676	76341219	68.373.457	
Año 48	147.257.557	77948975	69.308.582	
Año 49	87.258.424	79556730	7.701.694	
Año 50	90.422.216	81164486	9.257.730	
Año 51	93.873.856	82772242	11.101.614	
Año 52	99.544.888	84379997	15.164.891	
Año 53	100.810.400	85987753	14.822.647	
Año 54	100.322.712	87595509	12.727.203	
Año 55	104.029.984	54296555	49.733.429	
Año 56	105.108.576	56265224	48.843.352	
Año 57	109.114.345	68148508	40.965.837	
Año 58	111.657.226	72265441	39.391.785	
Año 59	114.200.107	73184150	41.015.957	
Año 60	116.742.988	72830109	43.912.879	
Año 61	119.285.868	64732658	54.553.210	
Año 62	121.828.749	65403811	56.424.938	
Año 63	124.371.630	73125707	51.245.923	
Año 64	126.914.511	74733463	52.181.048	
Año 65	129.457.391	76341219	53.116.172	
Año 66	132.000.272	77948975	54.051.297	
Año 67	134.543.153	79556730	54.986.423	
Año 68	137.086.034	81164486	55.921.548	
Año 69	139.628.915	82772242	56.856.673	

Año 70	142.171.795	84379997	57.791.798	
Año 71	144.714.676	85987753	58.726.923	
Año 72	147.257.557	87595509	59.662.048	
Valor Salvamento	166.600.000	166.600.000		

Tabla 5.8. Resumen de Costos y Diferencias de Planes de Mantenimiento. Tasa de descuento de un 8 por ciento utilizada en las Instituciones Públicas de Chile. Fuente: Elaboración Propia.

Considerando los valores presentados en la tabla, el Valor Actual Neto de la diferencia de costos de ambos planes de mantenimiento se presenta a continuación:

VAN de la Diferencia
\$479.521.357

Tabla 5.9. VAN de la Diferencia de Costos
Fuente: Elaboración Propia.

El indicador VAN mayor a cero se entiende debido a que para implementar el nuevo plan de mantenimiento no es necesario realizar un desembolso como inversión inicial, mas bien es un cambio en términos de la metodología en la gestión de la producción para el mantenimiento, y significa el ahorro obtenido. Además se considera el ahorro en disponibilidad de equipo por año. Los recursos humanos como financieros para llevar a cabo la propuesta serán suministrados en su totalidad por la Dirección de Sistemas Navales.

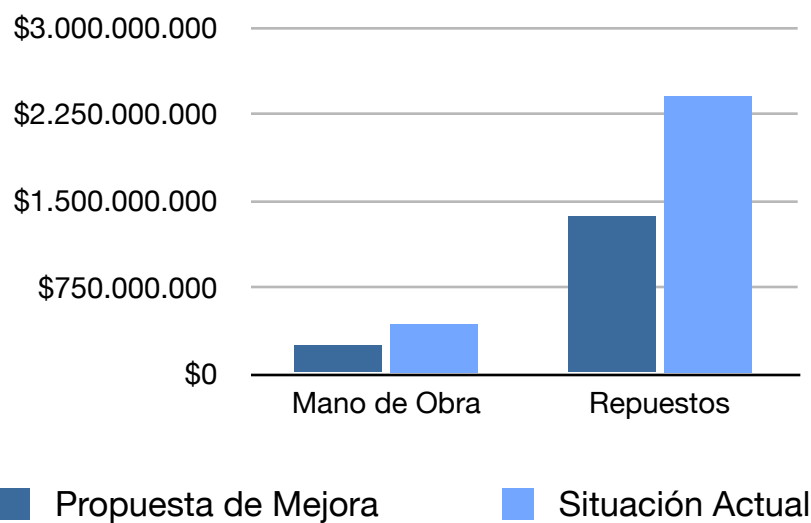


Figura 5.6. Resumen de Costos
Fuente: Elaboración Propia.

Separando los costos de Mano de Obra y Repuestos se tiene puede observar claramente el ahorro de recursos traducidos no solamente en dinero sino también en disponibilidad de equipo.

Ante los análisis realizados se concluye que la propuesta de extender el ciclo de mantenimiento mayor de los motores Caterpillar de la Serie 3300 es conveniente desde el punto de vista económico.

5.6 Repercusiones en los Costos del Mantenimiento de Nivel 3

Considerando las implicancias que conlleva la propuesta de intervención, no sólo para la rutina de mantenimiento mayor sino también en las rutinas de reacondicionamiento presentadas en detalle con anterioridad, es pertinente realizar una evaluación de los costos asociados considerando la propuesta.

Si se realiza el ejercicio para el año 2009 - 2010 considerando una máquina M1, el cual considera el plan actual de mantenimiento la operación de reacondicionamiento tiene un costo por máquina de \$6.280.237 IVA incluido, considerando mano de obra y repuestos.

Año	2009 Reacondicionamiento	2010 Overhaul
Costos M1	\$6.280.237	\$13.138.572

Tabla 5.10. Ejercicio de Costos Reacondicionamiento Overhaul.

Fuente: Elaboración Propia

Entendiendo que el procedimiento de Overhaul comprende todas las tareas desarrolladas en la operación de reacondicionamiento, claramente se puede observar sobremantenimiento.

En 4 períodos de mantenimiento mayor se da esta figura, si lo proyectamos corresponde a los años 2004 - 2005, 2009 - 2010, 2014-2015, 2019 - 2020.

Aplicando la propuesta de mejora se genera una reducción de los costos, debido a que cada reacondicionamiento coincide en la programación del mantenimiento mayor, este ahorro se puede ver reflejado para el ejemplo de la máquina M1. De esta forma se bajan los costos y se reducen las intervenciones por ende disminuye la probabilidad de falla después de overhaul.

6. CONCLUSIONES.

Visto lo expuesto en el estudio técnico y de acuerdo a los objetivos planteados en cuanto a: analizar la conveniencia de alargar el período entre Overhaul de los motores Caterpillar de la Serie 3.300, el impacto de esta medida en los componentes críticos y la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo que permitan monitorear la extensión de los períodos entre Overhaul, se ha determinado que el proyecto es técnicamente factible. El optar por la medida de extender el período entre Overhaul de las 10.000 horas de operación a las 12.000 horas permitirá disminuir los ciclos de mantenimiento efectuados al motor durante el ciclo de vida de éste, de 4 ciclos, según lo programado sin proyecto, a 3 ciclos de acuerdo a lo que propone el proyecto, igualmente lo anterior aumentará la disponibilidad de los equipos de un 90,9% a un 92,3%, al disminuir el número de intervenciones mayores a los motores.

Por otra parte, el análisis RCM efectuado al motor y la implementación de técnicas de mantenimiento predictivo, buscan en el caso de RCM, estudiar el motor para determinar, mediante el uso de esta herramienta, cuáles son los modos de fallas que pudiesen forzar un Overhaul no programado. En cuanto al mantenimiento predictivo, este tipo de mantenimiento permite mejorar sustancialmente el rendimiento operacional al equipo, además de utilizar de mejor forma el uso de las piezas y partes del motor hasta el término de su vida útil. Al monitorear el motor con las técnicas de mantenimiento predictivo propuesta, se podrá establecer el tiempo preciso en que se deba efectuar el Overhaul a los motores Caterpillar de la Serie 3.300.

La evaluación económica muestra que el proyecto es económicamente viable y de acuerdo a lo planteado en los objetivos de éste en cuanto a la conveniencia económica de llevarlo a cabo, la evaluación determinó la conveniencia de su realización debido a que se conseguirá ahorrar recursos humanos, materiales y financieros, disminuyendo además los stocks de repuestos con un significativo impacto en el sostenimiento logístico.

El cumplimiento de la totalidad de los objetivos planteados en el proyecto proporciona una mejora en la gestión del sostenimiento del material naval, generando un mantenimiento mucho más eficiente de lo efectuado en la actualidad, aportando innegables beneficios, tanto técnicos, como económicos para la Armada de Chile.

7. RECOMENDACIONES

Considerando la oportunidad de realizar un plan de mantenimiento se recomienda a la Dirección de Sistemas Navales revisar lo propuesto para evaluar su implementación técnica a través de una prueba estadística tomando una muestra significativa y aplicando el modelo RCM anteriormente detallado.

Se sugiere revisar la metodología Seis Sigma en combinación con RCM, se sabe de compañías que hasta aumentan la vida útil de sus maquinarias por utilizar y mejoran sus procesos de calidad y servicio que otorgan. Considerando lo que conlleva la aplicación de Seis Sigma, capacitaciones a todo nivel de la Institución, se cuenta con una ventaja muy particular, la disciplina para dicha estrategia, sin embargo es necesario capacitar al personal.

Además se propone la evaluación de una licitación pública del servicio de mantenimiento requerido, de manera que se abra al mercado de empresas que también realizan dichos servicios.

Se sugiere investigar otras marcas de motores que ofrezcan mejores prestaciones de manera de estar informado sobre los avances tecnológicos en materia de motores generadores.

8. BIBLIOGRAFIA

CATERPILLAR. Manual de Operación y Mantenimiento SSBU6102-01. EE.UU. 1986. 120p

CATERPILLAR. Manual de Operación y Mantenimiento SSBU6328-04. EE.UU. 1998. 120p

CATERPILLAR Maintenance Management Schedule for Industrial and Generator Set Engines SEBU6103-05 1998. 68p.

FINNING- CHILE Cartilla de Motores Caterpillar

JOHN MOUBRAY, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, "Cap1", "Cap 4" y "Cap 10", Editorial Aladon LLC, Edición en Español, Estados Unidos, North Carolina.

NASSIR SAPAG, Formulación y Evaluación de Proyectos. Editorial Pearson. Mexico. 2007. 488p.

HILL JONES, Administración Estratégica un Enfoque Integrado. Editorial Mc Graw Hill. 2004. 524p.
BPM 658.4012 HILL 2004

JOSÉ ANTONIO DOMÍNGUEZ MACHUCA, Dirección de Operaciones Aspectos Estratégicos en la Producción y los Servicios. Editorial Mc Graw Hill. 1995. 469p. 658.4012 DOMd

JOSÉ ANTONIO DOMÍNGUEZ MACHUCA, Dirección de Operaciones Aspectos Tácticos en la Producción y los Servicios. Editorial Mc Graw Hill. 1995. 503p. 658.4012 DOMd

JAY HEIZER, Dirección de la Producción y de las Operaciones Decisiones Estratégicas. Editorial Pearson. 2007. 557p. BPM658.5 HEId 2007.

JAY HEIZER, Dirección de la Producción y de las Operaciones Decisiones Tácticas. Editorial Pearson. 2007. 557p. BPM658.5 HEId 2001.

9. LINKOGRAFÍA

GOBIERNO DE CHILE MINISTERIO DE PLANIFICACIÓN 2011.

<http://sni.mideplan.gob.cl/documentos/Metodologias/me_educacion.pdf>

[Consulta: 14 Junio 2011]

ARMADA DE CHILE [en línea]

<http://www.armada.cl/antecedentes-de-proveedores-de-la-armada-de-chile/prontus_armada/2011-08-30/141044.html>

[Consulta: 10 de Abril 2011]

FINNING S.A. [en línea]

<http://www.finning.cl/www/html/soporte_al_cliente.asp>

[Consulta: 11 Julio 2011]

U-CURSOS.CL. Indicadores de Evaluación de Proyectos [En línea]. [Consulta Abril 2011].

Disponible en:<<https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2009> >

JOHN MOUBRAY, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, traducido y adaptado por Carlos Mario Pérez., [En línea] [Consulta Abril del 2011]. Disponible en: <www.soporteycia.com.co>

10. Anexos

ANEXO A: HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS RCM II AL MOTOR CATERPILLAR DE LA SERIE 3.300

Función	Falla Funcional	Modo de falla (causa de la falla)	Efecto de las fallas (¿Qué sucede cuando falla?)
<u>Sistema de Lubricación:</u> 1. Ser capaz de mantener una presión de lubricación superior a los 3,5 Bar.	A. No es capaz de mantener una presión de lubricación superior a los 3,5 Bar.	1. Desgaste prematuro de la bomba. 2. Falla válvula reguladora de presión por desgaste de resorte regulador. 3. Rotura del circuito por vetustez. 4. Filtración del circuito por juntas degradadas. 5. Filtros tapados por contaminación. 6. Aceite emulsionado con agua por roturas de juntas. 7. Aceite contaminado con combustible por vetustez del sistema de inyección. 8. Mala sincronización de los inyectores por error humano. 9. Degradación de juntas del Carter.	1. A.1 Al desgastarse prematuramente la bomba, pierde los claros de ajuste lo que ocasiona pérdida de la presión de descarga y por ende baja presión de lubricación, este mal funcionamiento puede producir, si no se alerta a tiempo desgaste de los componentes del motor. 1. A.2 Cuando falla la válvula reguladora debido al desgaste del resorte regulador de la válvula, se produce una baja presión de lubricación que ocasiona desgaste de los componentes del motor sometidos a lubricación T.P.E.F. 5 años. 1. A.3 Una rotura de circuito ocasiona pérdida de lubricación del motor en forma rápida, este modo de falla si no se detecta a tiempo tiene efectos catastróficos sobre el motor, tales como: fundición de metales y agripamiento de los cojinetes del motor. T.P.E.F. 10 años. 1. A.4 Al degradarse las juntas, baja presión de lubricación debido a la filtración de aceite a través de ellas, este mal funcionamiento puede producir desgaste de los componentes del motor. . T.P.E.F. 5 años. 1. A.5 Al taparse el filtro por contaminación, baja presión de lubricación ocasionando desgaste de los componentes del motor. . T.P.E.F. 300 Hr.

			1. A.6 Este modo de falla produce una lubricación deficiente que ocasiona desgaste en las piezas sometidas a lubricación, además debido a esta situación se eleva la temperatura del motor. Dependiendo el tiempo de operación bajo esta condición esta anomalía puede originar agripamiento de los cojinetes y piezas metálicas. T.P.E.F. 5 años. 1. A.7 De la misma forma del modo de falla anterior, esta situación se eleva la temperatura del motor. Dependiendo el tiempo de operación bajo esta condición esta anomalía puede originar agripamiento de los cojinetes y piezas metálicas. T.P.E.F. 2500 horas. 1. A.8 Al montar la bomba inyectora después de un reacondicionamiento o un Overhaul, a veces ésta no queda sincronizada correctamente, esta situación produce que la quema de combustible sea irregular, quedando combustible sin quemar, este residuo se escurre al Carter contaminando el aceite de lubricación, ocasionando dilución con combustible y por ende pérdida de lubricación con los efectos mencionados anteriormente. 1. A.9 Este modo de falla produce una lubricación deficiente que ocasiona desgaste en las piezas sometidas a lubricación, además debido a esta situación se eleva la temperatura del motor. Dependiendo el tiempo de operación bajo esta condición esta anomalía puede originar
--	--	--	---

			agripamiento de los cojinetes y piezas metálicas. T.P.E.F 5 años.
<u>Sistema de Enfriamiento:</u> 2. Ser capaz de mantener la temperatura del motor hasta los 100°C	A. No es capaz de mantener la temperatura del Motor hasta 100°C.	1. Filtro tapado por contaminación. 2. Desgaste prematuro de la bomba de agua de mar. 3. Falla bomba de agua salada (impulsor roto por vetustez). 4. Bajo nivel de agua refrigerada por rotura del circuito. 5. Bajo nivel de agua refrigerada por degradación de juntas. 6. Falla de válvulas termostáticas por vetustez. 7. Rotura de tubos de intercambiadores de calor por degradación de los ánodos de Zinc. 8. Tubo de intercambiador de calor tapado por cuerpo extraño, en un porcentaje superior al 10%. 9. Tratamiento inadecuado del líquido refrigerante por error humano.	2. A.1 El filtro tapado por contaminación genera baja presión de descarga de la bomba de enfriamiento y altas temperaturas, esta situación ocasiona sobrecalentamiento del motor que a su vez originan rotura de la junta de culatas y agripamiento de las piezas del motor por dilatación. T.P.E.F. 200 horas. 2. A.2 El desgaste prematuro de la bomba de agua de mar, produce una disminución del flujo que impide la absorción de la temperatura del líquido refrigerante, sobrecalentando el motor originando el mismo efecto descrito en el párrafo anterior. T.P.E.F. 2.000 horas. 2. A.3. La bomba no es capaz de hacer recircular el agua dulce que enfría el motor, por ende el agua no se va a mover a través del intercambiador del motor con efectos similares a los mencionados en los párrafos anteriores. T.P.E.F. 7.000 horas. 2. A.4 Una reacción tardía frente a este modo de falla produce altas temperaturas con los efectos antes mencionados, además el aceite lubricante producto de lo mencionado pierde su viscosidad originando una lubricación deficiente con efectos de agripamiento de cojinetes y desgaste de los componentes sometidos a lubricación. T.P.E.F. 10 años.

			2. A.5 Este modo de falla puede ocasionar fugas de compresión al circuito de refrigeración y por ende alza de temperatura, y también se puede dar el caso que cuando el motor está detenido la filtración del líquido refrigerante se acumula en la cámara de combustión ocasionando daños irreversibles en la viela, pistón y camisa debido a que como el agua es un líquido incompresible se produce un sobreesfuerzo en la cámara de combustión dañando los elementos antes mencionados. T.P.E.F. 5 años. 2. A.6 La válvula termostática regula la temperatura de trabajo del motor al fallar esta válvula se eleva la temperatura del motor produciendo el sobrecalentamiento de éste y a su vez esta situación puede originar rotura de la junta de culatas y agripamiento de las piezas del motor por dilatación. T.P.E.F. 5.000 horas. 2. A.7 Al producirse este modo de falla, genera que el agua tratada (agua de refrigeración) se mezcle con el agua salada, ocasionando corrosión interna en los componentes del motor. T.P.E.F. 2500 horas. 2. A.8 Al taparse los tubos del intercambiador de calor en un porcentaje superior al 10%, se eleva la temperatura del motor produciendo el sobrecalentamiento de éste y a su vez esta situación puede originar rotura de la junta de culatas y agripamiento de las piezas del motor por dilatación. T.P.E.F. 3000 horas.
--	--	--	---

			2. A.9 El tratamiento inadecuado del líquido refrigerante produce que el agua de refrigeración tenga una alta concentración de sales y minerales, estos elementos se adhieren a las paredes de los circuitos por donde fluyen ocasionando corrosión progresiva y por ende deterioro de los componentes internos del motor. T.P.E.F. 3000 horas.
<u>Sistema de Admisión y Escape de aire:</u> 3. Ser capaz de proporcionar la relación Aire/Combustible del motor	A. No es capaz de proporcionar la relación Aire/Combustible	1. Falla turbo compresor por desgaste. prematuro por mala lubricación. 2. Filtro de aire tapado por contaminación. 3. Filtro de aire roto por cuerpo extraño. 4. Falla enfriador de aire por rotura debido a vetustez. 5. Rotura del colector de escape por vetustez.	3. A.1 Este modo de falla produce mala combustión y por ende pérdida de potencia debido a la mezcla inadecuada de aire/combustible, esta situación genera carbonizaciones que afectan a los inyectores, coronas, pistones y culatas, originándose auto-igniciones dañando los componentes antes mencionados. . 3. A.2 Al taparse el filtro por contaminación, se genera mala combustión y pérdida de potencia. Este modo de falla presenta efectos similares al mencionado en el punto 3.A.1. T.P.E.F. 500 horas. 3.A.3 Cuando el filtro de aire se rompe ingresa contaminación a la cámara de combustión, esta situación si no se remedia a tiempo provoca pérdida del bruído de la camisa del pistón, al perderse esta característica el pistón pierde lubricación y por lo tanto se produce desgaste de la pieza al estar ambas superficies lisas. T.P.E.F. 800 horas.

			3.A.4 Al no funcionar el enfriador de aire origina que el aire aumente su temperatura y volumen, lo anterior produce que entre menos aire a la cámara de combustión afectando a la potencia del motor debido a la mala combustión, generando efecto similares a los indicado en el punto 3.A.1 T.P.E.F. 10 años. 3.A.5 Al romperse el colector de escape disminuye las revoluciones del turbo y por lo tanto el compresor suministra menos aire para la potencia requerida llegándole menos aire a la combustión ocasionado pérdida de potencia del motor con efectos similares a los indicado en el punto 3.A.1. T.P.E.F. 15 años.
<u>Sistema de Combustible:</u> 4. Ser capaz de suministrar combustible limpio al motor	A. No es capaz de suministrar combustible limpio	1. Filtro combustible tapado por contaminación. 2. Rotura de circuito por vetustez. 3. Baja presión de combustible por falla de válvula reguladora de presión, debido a desgaste de resorte regulador. 4. Falla de bomba inyectora por desgaste prematuro, debido a combustible sucio. 5. Inyectores descalibrados aleatoriamente. 6. Falla de bomba de combustible por petróleo contaminado.	4. A.1 El Filtro tapado por contaminación origina que llegue menos combustible a la cámara de combustión produciendo una mezcla inadecuada, afectando la potencia del motor sobreexigiendolo y finalmente desencadenando en pérdida de producción. T.P.E.F. 300 horas. 4. A.2 Al romperse el circuito no existe alimentación de combustible por lo tanto se detiene el motor. T.P.E.F. 10 años. 4. A.3 Este modo de falla produce un efecto similar al indicado en el punto 4.A.1. T.P.E.F. 5 años. 4. A.4 Al fallar la bomba inyectora no se produce inyección de combustible, el motor no funciona. 4. A.5 Este modo de falla ocasiona altas temperaturas en uno de los cilindros, esta situación genera sobrecarga en los demás cilindros pudiendo

			originar desbalanceamiento del cigüeñal y rotura de biela. 4. A.6 Al fallar la bomba de combustible por petróleo contaminado no existe alimentación de combustible por lo tanto se detiene el motor.
--	--	--	--

ANEXO B: HOJA DE DE DECISIÓN: ANÁLISIS RCM II AL MOTOR CATERPILLAR DE LA SERIE 3.300

Referencia de Información.			Evaluación de las consecuencias.				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
1	A	1	S	N	N	S	S						Comparar presión y caudal en diferentes partes del circuito	5.000 Hr.	Mecánico.
1	A	2	S	N	N	S			S				Efectuar reemplazo cíclico del resorte de la válvula reguladora de presión.	4.000 Hr.	Mecánico
1	A	3	S	N	N	S	S						Efectuar pruebas de presión y reemplazar cañerías defectuosas	4.500 Hr.	Mecánico
1	A	4	S	N	N	S	S						Efectuar pruebas de presión y reemplazar juntas dañadas	4.500 Hr.	Mecánico
1	A	5	S	N	N	S			S				Efectuar reemplazo cíclico del filtro de aceite.	250 Hr.	Mecánico
1	A	6	S	N	N	S	S						Efectuar análisis de aceite.	100 Hr.	Mecánico
1	A	7	S	N	N	S	S						Efectuar análisis de aceite y gases.	100 Hr.	Mecánico
1	A	8	S	N	N	S	S						Efectuar supervisión del montaje de los inyectores y evaluar destreza técnica y teórica del mecánico (rediseño).	3 meses	Supervisor de área
1	A	9	S	N	N	S	S						Efectuar rondas durante períodos de operación, objeto verificar filtraciones en juntas del Carter.	C/ 1 Hora	Supervisor de área
2	A	1	S	N	N	S		S					Efectuar inspección y limpieza de filtros de agua de mar si amerita.	C/ 15 Días	Mecánico
2	A	2	S	N	N	S	S						Efectuar inspección a estado de ánodos de sacrificio y rendimiento de la bomba de agua de mar.	350 Hr.	Supervisor de área
2	A	3	S	N	N	S			S				Efectuar reemplazo cíclico del impulsor de la bomba.	6.000 Hr.	Mecánico
2	A	4	S	N	N	S	S						Verificar estado de circuitos, presión, temperatura y nivel de agua de refrigeración	C/ 1 Hora	Supervisor de área

2	A	5	S	N	N	S	S						Verificar estado de circuitos, presión, temperatura y nivel de agua de refrigeración	C/ 1 Hora	Supervisor de área
2	A	6	S	N	N	S			S				Efectuar reemplazo cíclico de válvula termostática.	4.000 Hr.	Mecánico
2	A	7	S	N	N	S							Efectuar inspección a ánodos de sacrificio y reemplazar cuando desgaste sea superior al 25%.	400 Hr.	Mecánico
2	A	8	S	N	N	S	S						Verificar eficiencia del intercambiador de calor, si baja del 90%, efectuar limpieza.	400 Hr.	Supervisor de área
2	A	9	S	N	N	S	S						Supervisar la confección de la mezcla y efectuar análisis de agua.	Mensual	Supervisor de área
3	A	1	S	N	N	S							Verificar presión de aceite y temperatura del turbo durante la operación.	C/ 1 Hora	Supervisor de área
Referencia de Información.			Evaluación de las consecuencias.				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia Inicial	A realizar por
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4			
3	A	2	S	N	N		S						Efectuar limpieza del filtro de aire.	200 Hr.	Mecánico
3	A	3	S	N	N	S							Efectuar inspección visual antes de la puesta en marcha y controlar presión de entrada de aire.	A requerimiento	Mecánico
3	A	4	S	N	N	S		S					Efectuar reacondicionamiento cíclico del enfriador de aire.	20.000 Hr.	Mecánico
3	A	5	S	S	N	N		S					Efectuar reacondicionamiento cíclico del colector de escape.	28.000 Hr.	Mecánico
4	A	1	S	N	N	S		S					Efectuar inspección y limpieza de filtros si amerita.	250 Hr.	Supervisor de área
4	A	2	S	N	N	S	S						Efectuar pruebas de presión y reemplazar cañerías defectuosas	5.000 Hr.	Mecánico
4	A	3	S	N	N	S	S						Efectuar inspección y revisión de válvula reguladora	4.000 Hr.	Mecánico
4	A	4	S	N	N	S	S						Efectuar prueba de banco.	12.000 Hr.	Mecánico
4	A	5	S	N	N	S	S						Verificar calibramiento de inyectores	2.000 Hr.	Mecánico
4	A	6	S	N	N	S	S						Efectuar análisis de combustible.	100 Hr.	Mecánico

ANEXO C: ANÁLISIS TÉCNICO

	Informe de Análisis Técnico		
	<i>Monitoreo de Condiciones Centro de Soporte al Producto</i>		
<i>Fecha Prueba:</i>	02-04-2009	<i>Fecha Informe:</i>	27-04-2009
<i>Tipo de Prueba:</i>	AT1 - AT2	<i>Serie:</i>	
<i>Cliente:</i>		<i>Modelo:</i>	3512
<i>Embarcación:</i>			
<i>Horómetro:</i>	13845	<i>Aplicación:</i>	Propulsor
<i>Posición:</i>	Babor	<i>IMC:</i>	.

Estimado Cliente:

Informamos a Ud. que Finning ha realizado una evaluación al equipo de la referencia bajo su Administración y ha realizado observaciones de importancia que de NO ser corregidas pueden afectar seriamente al **Motor** y sus componentes, los cuales si son reparados después de falla pueden llegar a un valor estimado de US\$ 30.000.

Estado General del equipo:

1.- Recomendaciones:

Sistema de admisión y escape.

- ❖ Reparar o cambiar Turbo por filtraciones hacia el aftercooler.
- ❖ Cambiar filtros de aire.
- ❖ Reparar tuberías de escape.
- ❖ Se encuentra filtración por flexible de escape.

Culata de motor

- ❖ Reemplazar sellos de tapa de válvulas y de base de tapa de válvulas.

Estructura frontal y trasera

- ❖ Reemplazar sello trasero de cigüeñal.

Block de cilindros

- ❖ Reacondicionar o cambiar válvula de presión de alivio del carter.

Sistema de combustible

- ❖ Cambiar bomba de cebado y solenoide de corte de combustible.
- ❖ Cambiar filtro de combustible y base de filtro.
- ❖ Reparar regulador de velocidad.
- ❖ Filtración por mando gobernador.
- ❖ Filtración por base de gobernador y caja delantera.
- ❖ Ajustar varillaje del gobernador y válvula de control relación aire-combustible.

Sistema de lubricación

- ❖ Cambiar filtro de aceite y respiradero de motor.

Sistema de enfriamiento

- ❖ Cambiar o reparar bomba de agua.
- ❖ Reparar tapa de tanque de expansión refrigerante.

2.- Antecedentes:

1- La inspección visual e instrumental (AT1 –AT2) realizada arrojaron las recomendaciones mencionadas, la cuales pasamos a detallar a continuación.

Finning S.A.- Argentina – Bolivia – Chile - Uruguay

3.- Detalles de observaciones detectadas:

SOS:



Observaciones:

Motor: Elementos de desgaste normales.

Elementos de desgaste (ppm)	Cu	Fe	Cr	Al	Pb	Sn	Si	Na	K	Mo	Ni	Ag	Ti	Mn	Ca	Mg	Zn	P	Ba
R120-39103-S107	2	2	0	1	2	0	0	5	1	3	1	0	0	0	2631	26	1020	859	0

Condición de aceite / Contorno Partículas	ST	OXI	NIT	SUL	W	A	F	V100
R120-39103-S107	9	11	13	3	N	N	N	13.6

RESULTADO DE LA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIESEL, SIN CARGA.

CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR

Turbo ☒

Post enfriador ☐

Inyección directa ☐

Precámara de combustión ☒

MUI ☐

EUI ☐

HEUI ☐

MEDICIÓN DE PARÁMETROS	UNIDAD	MEDIDA		ACEPTABLE		OBSERVACIONES
		ESPEC	ACTUAL	SI	NO	
RPM BAJA EN VACIO	[RPM]	650	650	☒	☐	
RPM ALTA VACIO	[RPM]	1730	1780	☒	☐	
PRESION COMBUSTIBLE	[PSI]	67	50/72	☒	☐	
PRESION DE ACEITE	[PSI]	63	70/90	☒	☐	
TEMPERATURA AMBIENTAL	[°C]		19	☒	☐	
RESTRICCION FILTRO DE AIRE	Pulg h2O	25>	0	☒	☐	
JUEGO AXIAL CIGÜEÑAL	Pulg	0.007-0.025	0.015	☒	☐	
Viscosidad del Aceite: SAE 15w40		Nivel de aceite: ☒ Bien ☐ Mal			Toma de muestra de aceite ☒	
OBSERVACIONES:						

RESULTADO DE LA PRUEBA DEL SISTEMA PROTECCION DEL MOTOR MARINO.

Sistema protegido	Funcionamiento Aceptable			Observaciones
	si	no	N/A	
ALARMA POR BAJA PRESION DE ACEITE	☒	☐	☐	

RESULTADO DE LA PRUEBA DEL SISTEMA ELECTRICO														
ESTADO DE BATERÍAS	Corrosión		Respiraderos Cerrados		Rajaduras		Estado terminales		Bajo nivel electrolito		Suciedad			
	si	no	si	no	si	no	Bueno	Malo	si	no	si	no		
	☐	☒	☐	☒	☐	☒	☒	☐	☐	☒	☐	☒		
	Gravedad Especifica								Gravedad Especifica					
	Celda	Indicación							Celda	Indicación				
	1	1290-1260							1	1270-1220				
	2	1280-1280							2	1270-1260				
	3	1280-1280							3	1270-1280				
	4	1280-1270							4	1270-1275				
	5	1270-1280							5	1270-1270				
	6	1250-1290			6	1280-1220								
	DIFERENCIA DE MAS DE 0,050 ENTRE LAS CELDAS DE MAYOR Y MENOR CARGA								DIFERENCIA DE MAS DE 0,050 ENTRE LAS CELDAS DE MAYOR Y MENOR CARGA					
	SI		NO				SI		NO					
☐		☒				☒		☐						
Test				Especificado	Actual	Aceptable		Observaciones						
						si	no							
VOLTAJE DE CARGA				27-29 v	27,5	☒		☐						
VOLTAJE DE ARRANQUE				18 V	17,30	☐		☒						
AMPERAJE DE ARRANQUE				750 amp	430	☒		☐						
ALTERNADOR / REGULADOR DE SALIDA				27-29 v	27,5	☒		☐						
Tiene Cargador / Mantenedor de Baterías		Estado del Cargador / Mantenedor de Baterías		Interruptor Corta Corriente funcionando correctamente			Capacidad de la Bateria (s)		Marca y cantidad de las Baterías					
si	no	Bueno	Malo	si	no	N/A	Amp/hr		Marca		Cantidad			
☐	☒	☐	☒	☐	☒	☐	200		Bosch		2			
Finning S.A.- Argentina – Bolivia – Chile - Uruguay														

RESULTADO DE LA PRUEBA DE NAVEGACION MOTOR PROPULSOR						
Potencia especificada: 954 HP. @ 1600 RPM						
Tipo de Casco: Desplazamiento ☒ Semi Desplazamiento ☐ Planeo ☐						
UBICACIÓN MOTOR: Eb. ☐ Centro ☐ Bb. ☒						
PARAMETROS MEDIDOS	R. P. M.					
	650	1000	1200	1400	1600	Aceleración Plena 1688
Velocidad embarcación (Nudos)		8	9,2	11	12,2	13
Presión Aceite Motor (PSI)		68	68	68	68	66,6
Presión de Combustible (PSI)		60	62	68	68	68
Presión Múltiple Admisión (Pulgadas de HG)		3,5	9	18	31	39
Presión de Cáster (Pulgadas Columna H2O)		0	0	0	0	0
Temperatura Sala de Máquinas (Ambiente) (°C)		25	28	32	34	37
Temperatura Refrigerante Salida Motor (°C)		78	81	84	84	87
Temperatura Refrigerante Entrada Motor (°C)		27	32	38	42	46
Temperatura Refrigerante Tanque Expansión (°C)		76	78	80	79	81
Temp. Agua Mar Entrada Intercambiador (°C)		13	14	16	14	16
Temp. Agua Mar Salida Intercambiador (°C)		19	21	24	25	28
Temperatura Combustible Entrada Motor (°C)		17	20	24	28	35
Temperatura Combustible Salida Motor (°C)		41	42	45	47	51
Temperatura Lubricante Motor (°C)		78	82	87	88	91
Temperatura Aire Admisión. (°C)		23	26	31	31	31
Temperatura Gases Escape (Stack) (°C)		260	320	360	380	400
Voltaje de CC (Baterías) (Volt CC)	27,5	27,5	27,3	27,3	27,4	27,4
Horómetro	13844			13845		13845
Finning S.A.- Argentina – Bolivia – Chile - Uruguay						



PRESUPUESTO ESTIMATIVO

N° A Armada A FAX N° AT. SR. Sebastian Perez Email: REF. Presupuesto estimado por realizar Overhaul a Motor CAT 3304.	FECHA 23-diciembre-2010 PAGINAS DE FAX N° 065-347106 DE SR. Fernando Arteaga Reyes
--	--

1. Mano de Obra

Detalle de trabajos:

Desarmar / Evaluar / Armar / Reparar.	1.680.000
---------------------------------------	-----------

Sub-Total	1.680.000
------------------	------------------

Total Mano de Obra	1.680.000
---------------------------	------------------

2. Repuestos

CANT	DESCRIPCIÓN	VAL. UNIT.	VAL. TOTAL
1		10.023.130	10.023.130
	Sub-Total		10.023.130
	Descuento 10%		1.002.313

Total Repuestos	9.020.817
------------------------	------------------

3. Misceláneos

CANT	DESCRIPCIÓN	VAL. UNIT.	VAL. TOTAL
1	Misceláneos	340.000	340.000

Total Misceláneos	340.000
--------------------------	----------------

NETO	\$ 11.040.817
IVA	\$ 2.097.755
TOTAL FACTURA FINNING	\$ 13.138.572

NOTAS:

Al término de la reparación se deben realizar las pruebas con carga.

La carga y el combustible son de cargo del cliente.

La duración de los trabajos es de diez días corridos, sin considerar el día domingo.

Este plazo no considera los tiempos de la maestranza.

La disponibilidad de los repuestos es de seis días hábiles.

Si se requiere algún repuesto o trabajo no considerado en este presupuesto , se informará su costo . Los repuestos no utilizados serán descontados del presupuesto .

El ítem " Mano de obra " considera el cobro por concepto del trabajo indicado

El ítem " Misceláneos " considera o tiene como fin solventar los gastos de uso de vehículo , alimentación del personal, materiales y maestranza.

Se considera la utilización solamente de repuestos originales Caterpillar y componentes remanufacturados Caterpillar.

Garantía : 6 meses a partir de la fecha de puesta en servicio del motor.

Forma de Pago: A convenir.

Favor remitir Orden de compra a nombre de Finning Chile **S.A.**

R.U.T. : 91.489.000 - 4

Panamericana Norte N° 1045, fono 65 - 347100, fax 65 - 347106 - Puerto Montt

Atentamente,

Fernando Arteaga Reyes
Ingeniero de Venta de Repuestos y Servicios
fernando.arteaga@finning.cl
Finning Chile S.A.
Sucursal Puerto Montt

GRUPO	N° PARTE	CANT.	DESCRIPCIÓN	V. UNITARIO	V. TOTAL
EJE COMPENSADOR	4S-6417	2	METAL AXIAL	\$ 20.597	\$ 41.194
RESPIRADERO	2W-9162	1	RESPIRADERO	\$ 44.685	\$ 44.685
EJE DE LEVAS	7S-2204	1	METAL AXIAL	\$ 40.657	\$ 40.657
FILTRO ACEITE	1R-1807	1	FILTRO ACEITE MOTOR	\$ 12.761	\$ 12.761
ENFRIADOR ACEITE	319-3435	1	ENFRIADOR	\$ 536.866	\$ 536.866
BASE FILTRO ACEITE	8M-3182	2	RESORTE	\$ 6.968	\$ 13.936
	9M-0853	2	VÁLVULA	\$ 14.922	\$ 29.844
TAPA BLOQUE CILINDROS	4B-3938	1	TAPÓN	\$ 2.660	\$ 2.660
BLOQUE CILINDROS	4B-3938	1	TAPÓN	\$ 2.660	\$ 2.660
	7M-4046	2	BUJE EJE LEVAS	\$ 23.153	\$ 46.306
	8N-4110	1	BUJE EJE LEVAS	\$ 32.028	\$ 32.028
	9Y-2991	4	BUJE EJE COMPENSADOR	\$ 16.852	\$ 67.408
	9Y-2992	2	BUJE EJE COMPENSADOR	\$ 33.329	\$ 66.658
CULATA	1N-4304	1	CULATA	\$ 1.483.824	\$ 1.483.824
SUJETADOR CULATA	1D-4595	6	PERNO	\$ 4.295	\$ 25.770
	2S-0736	6	GOLILLA	\$ 630	\$ 3.780
FILTRO COMBUSTIBLE	1R-0750	1	FILTRO COMBUSTIBLE	\$ 13.459	\$ 13.459
VARILLA NIVEL ACEITE	2P-2697	1	CAÑERÍA	\$ 26.557	\$ 26.557
	5K-9243	2	CODO	\$ 1.272	\$ 2.544
DISTRIBUCIÓN DELANTERA	1A-1135	1	PERNO	\$ 1.946	\$ 1.946
	5S-7630	1	BUJE	\$ 18.827	\$ 18.827
	8N-4960	1	METAL AXIAL	\$ 24.320	\$ 24.320
	196-9988	1	BUJE	\$ 15.235	\$ 15.235
LÍNEAS DE INYECCIÓN	8N-5132	4	ABRAZADERA	\$ 13.026	\$ 52.104
	1T-0416	4	PERNO	\$ 2.315	\$ 9.260
	8H-9204	4	GOLILLA	\$ 1.384	\$ 5.536
	0R-3418	4	INYECTOR REMANOFACTURADO	\$ 82.206	\$ 328.824
		4	VALOR CORE	\$ 69.403	\$ 277.612
	1W-9168	7	ABRAZADERA	\$ 3.050	\$ 21.350
	1W-9169	7	ABRAZADERA	\$ 3.568	\$ 24.976
LÍNEAS DE AGUA	131-6645	1	MANGUERA	\$ 7.674	\$ 7.674
MÚLTIPLE ESCAPE	2M-4779	5	PERNO	\$ 5.525	\$ 27.625
	5M-2894	5	GOLILLA	\$ 299	\$ 1.495
	1B-5355	5	TUERCA	\$ 189	\$ 945
CÁRTER	034-3557	10	PERNO	\$ 1.137	\$ 11.370
	5M-2894	10	GOLILLA	\$ 299	\$ 2.990
PISTÓN Y BIELA	3304-KITCOJ.BIELAS	1	JUEGO METAL BIELA	\$ 37.602	\$ 37.602
	3304-KITCOJ.BANC/P	1	JUEGO METAL BANCADA	\$ 98.118	\$ 98.118
	3300-1646560	4	JUEGO CILINDRO (CAMISA, PISTÓN, ANILLOS,PASADOR)	\$ 181.455	\$ 725.820
	8N-1849	4	BUJE BIELA	\$ 21.815	\$ 87.260
	1P-9956	8	PERNO BIELA	\$ 23.073	\$ 184.584
	5S-6348	8	TUERCA	\$ 4.997	\$ 39.976
BOMBA TRANSFERENCIA COMBUSTIBLE	0R-3537	1	BOMBA TRANSFERENCIA REMANOFACTURADA	\$ 288.463	\$ 288.463
		1	VALOR CORE	\$ 175.784	\$ 175.784
BOMBA ACEITE	0R-0920	1	BOMBA ACEITE REMANOFACTURADA	\$ 477.276	\$ 477.276
		1	VALOR CORE	\$ 925.135	\$ 925.135
BOMBA AGUA	0R-1006	1	BOMBA AGUA REMANOFACTURADA	\$ 520.524	\$ 520.524
		1	VALOR CORE	\$ 435.847	\$ 435.847
BOMBA CEBADORA COMBUSTIBLE	9M-2341	1	ELEMENTO	\$ 7.065	\$ 7.065
	105-2508	1	BOMBA CEBADORA COMBUSTIBLE	\$ 79.150	\$ 79.150
MECANISMO VÁLVULAS	9H-1113	2	SEGURO	\$ 1.399	\$ 2.798
	7S-3161	8	TAQUI	\$ 40.458	\$ 323.664
	7N-0550	2	GOLILLA	\$ 612	\$ 1.224
	5S-5917	4	TORNILLO	\$ 9.464	\$ 37.856
	3S-2713	4	TUERCA	\$ 221	\$ 884
	4B-4910	3	RESORTE	\$ 7.615	\$ 22.845
	8N-3312	1	EJE BALANCÍN	\$ 70.448	\$ 70.448
JUEGOS EMPAQUETADURAS	6V-7459	1	JUEGO CÁRTER Y ESTRUCTURA CENTRAL	\$ 66.263	\$ 66.263
	6V-4763	1	JUEGO FRONTAL	\$ 87.727	\$ 87.727
	6V-7461	1	JUEGO SISTEMA COMBUSTIBLE	\$ 79.160	\$ 79.160
	6V-8041	1	JUEGO CULATA	\$ 168.571	\$ 168.571
	5P-9116	1	JUEGO ENFRIADOR ACEITE	\$ 38.402	\$ 38.402
	138-3069	1	JUEGO TRASERO	\$ 89.153	\$ 89.153
	208-4836	1	JUEGO BOMBA DE AGUA	\$ 12.534	\$ 12.534
FLANCHE ESCAPE	2W-5227	1	EMPAQUETADURA	\$ 9.403	\$ 9.403
LÍNEAS BOMBA AGUA AUXILIAR	2N-5291	2	EMPAQUETADURA	\$ 2.630	\$ 5.260
	6L-2280	1	ANODO ZINC	\$ 5.157	\$ 5.157
	112-3710	1	MANGUERA	\$ 18.719	\$ 18.719
	5P-1256	10	MANGUERA POR CM.	\$ 583	\$ 5.830
INTERCAMBIADOR DE CALOR	6L-3104	3	ANODO ZINC	\$ 4.175	\$ 12.525
	6V-5504	1	SELLO	\$ 4.761	\$ 4.761
	5F-3999	2	SELLO	\$ 4.309	\$ 8.618
	4P-3873	1	EMPAQUETADURA	\$ 10.559	\$ 10.559
LÍNEAS DE AGUA	3R-1317	1	MANGUERA	\$ 7.582	\$ 7.582
	5P-1259	9	MANGUERA POR CM.	\$ 645	\$ 5.805
	6C-9275	1	MANGUERA	\$ 11.208	\$ 11.208
	5P-1253	28	MANGUERA POR CM.	\$ 481	\$ 13.468
BOMBA DE AGUA AUXILIAR	0R-7893	1	BOMBA DE AGUA AUXILIAR REMANOFACTURADA	\$ 668.754	\$ 668.754

		1	VALOR CORE	\$ 475.323	\$ 475.323
	2P-0220	1	EMPAQUETADURA	\$ 3.643	\$ 3.643
FILTRO DE AIRE	4L-9851	1	ELEMENTO	\$ 36.512	\$ 36.512
TANQUE EXPANSIÓN	036-1865	1	TAPA	\$ 6.180	\$ 6.180
TERMOSTATO	111-8010	1	TERMOSTATO	\$ 44.137	\$ 44.137
FLEXIBLE ESCAPE	2W-5227	1	EMPAQUETADURA	\$ 9.403	\$ 9.403
INSTRUMENTOS	2W-3681	1	INDICADOR PRESIÓN ACEITE MOTOR	\$ 37.379	\$ 37.379
	200-5222	1	INDICADOR TEMPERATURA REFRIGERANTE	\$ 60.186	\$ 60.186
	266-0889	1	INDICADOR PRESIÓN COMBUSTIBLE	\$ 37.379	\$ 37.379
	155-2270	1	ENCHUFE	\$ 2.855	\$ 2.855
	186-3736	2	CONECTOR	\$ 1.068	\$ 2.136
	189-5746	1	SENSOR VELOCIDAD	\$ 110.529	\$ 110.529
Sub-Total				\$ 10.023.130	