

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EQUIPOS
CRÍTICOS DE BARCOS PESQUEROS DE LA FLOTA SEATECH
INTERNATIONAL INC.**

**GLAMAR BLANCO SILVA
JOHN JAIME SILVA MARULANDA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2009**

**DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EQUIPOS
CRÍTICOS DE BARCOS PESQUEROS DE LA FLOTA SEATECH
INTERNATIONAL INC.**

**GLAMAR BLANCO SILVA
JOHN JAIME SILVA MARULANDA**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director:
MANUAL MARTÍNEZ CARVAJAL
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2009**

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a nuestras familias por su apoyo durante casi dos años en los cuales fue muy poco el tiempo libre para compartir con ellos.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. JUSTIFICACIÓN.....	2
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVOS GENERALES.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. CONTEXTO.....	4
3.1 RESEÑA HISTÓRICA.....	4
3.2 FABRICA SEATECH INTERNATIONAL INC.....	5
3.2.1 Pesca del atún.....	6
3.2.2 Recepción.....	6
3.2.3 Almacenamiento.....	6
3.2.4 Descongelamiento.....	6
3.2.5 Eviserado.....	6
3.2.6 Cocción.....	6
3.2.7 Limpieza.....	7
3.2.8 Enlatado.....	7
3.2.9 Esterilización.....	7

3.2.10 Empaque.....	7
4. MARCO TEÓRICO.....	10
4.1 EL MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN LLEGA AL TRANSPORTE MARITIMO.....	10
4.2 TERMOGRAFIA.....	14
4.2.1 Aspecto histórico.....	15
4.2.2 Inspecciones termográficas.....	15
4.2.3 Esquema para medir temperatura con sistemas IR.....	18
4. 3 VIBRACIÓN MECÁNICA.....	23
4.3.1 Conceptos básicos en el análisis de vibraciones mecánicas.....	23
4.3.2 Métodos de medición de las vibraciones.....	24
4.3.3 Criterios y normas de severidad vibratoria.....	27
4.3.4 Diagnostico de fuentes.....	33
4.3.5 Vibración en máquinas reciprocantes.....	37
4.4 ANALISIS DE ACEITE.....	39
4.5 ULTRASONIDO ACUSTICO.....	41
4.6 ULTRASONIDO DE E.N.D.....	41
5. LA PROPUESTA.....	43
5.1 EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO.....	43

5.1.1	Introducción.....	43
5.1.2	Objetivos de la evaluación de mantenimiento.....	43
5.1.3	Evaluación de mantenimiento.....	43
5.1.4	Resultados de la evaluación.....	45
5.2	DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA.....	49
5.2.1	Baja confiabilidad operacional.....	50
5.2.2	Planeación deficiente.....	50
5.2.3	Gestión deficiente de repuestos en almacén.....	50
5.2.4	Fortalezas.....	50
5.2.5	Debilidades.....	50
5.2.6	Acciones de mejora.....	51
5.3	ANALISIS DE CRITICIDAD Y DETERMINACION DE LOS MODOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS CRITICOS.....	51
5.3.1	Recolección de información técnica.....	51
5.3.2	Análisis de criticidad.....	53
5.3.3	Determinación de los modos de falla de los equipos críticos.....	57
5.4	PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES MECANICAS.....	72
5.4.1	Objetivo.....	72

5.4.2 Alcance.....	72
5.4.3 Responsabilidades.....	72
5.4.4 Analista de vibraciones.....	73
5.4.5 Técnico de predictivo.....	73
5.4.6 Definiciones.....	74
5.4.7 Contenido.....	74
5.5 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANALISIS DE ACEITES.....	89
5.5.1 Objetivo.....	89
5.5.2 Alcance.....	89
5.5.3 Responsabilidades.....	89
5.5.4 Definición de roles y responsabilidades.....	89
5.5.5 Modelo de proceso de monitoreo y análisis de aceite.....	93
5.5.6 Planeación, programación y gestión de las rutinas de tomas de muestras de aceite.....	94
5.5.7 Análisis de aceites.....	94
6. IMPLEMENTACIÓN.....	106
6.1 COSTOS DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	106
6.2 RESUMEN DE PAROS POR AVERIAS DE EQUIPOS CRÍTICOS DE LOS BARCOS DE LA FLOTA DE SEATECH INTERNATIONAL INC.....	107

6.3 OBJETIVO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	110
6.4 INVERSIONES HERRAMIENTAS.....	110
6.5 RECURSO HUMANO.....	111
6.6 BENEFICIOS ESPERADOS DEL PROYECTO.....	111
6.7 TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO.....	112
7. CONCLUSIONES.....	114
8. BIBLIOGRAFÍA.....	115
8.4 INTERNET.....	116
8.5 CURSOS.....	116
ANEXOS.....	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación Geográfica Seatech Internacional Inc.....	5
Figura 2. Esquema para medir temperatura con sistema IR.....	18
Figura 3. Arreglo matricial CMOS de detectores IR.....	20
Figura 4. Métodos de medición de las vibraciones.....	25
Figura 5. Fuentes más comunes de vibración en equipos industriales.....	35
Figura 6. Direcciones comunes de medición de vibraciones.....	36
Figura 7. Análisis de aceite.....	39
Figura 8. Ultrasonido.....	41
Figura 9. Matriz de la excelencia de mantenimiento.....	49
Figura 10. Modelo de proceso predictivo, monitoreo y análisis de vibraciones.....	75
Figura 11. Puntos de medición.....	77
Figura 12. Puntos de medición de vibraciones.....	78
Figura 13. Nomenclatura puntos de medición de vibraciones.....	79
Figura 14. Norma ISO 10816-1	84
Figura 15. Reporte preliminar de medición de vibraciones.....	87
Figura 16. Reporte semanal de medición de vibraciones.....	87
Figura 17. Reporte mensual de medición de vibraciones.....	88

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Organigrama Seatech Internacional Inc.....	8
Cuadro 2. Organigrama área de flota.....	9
Cuadro 3. Rangos de severidad.....	32
Cuadro 4. Análisis de aceite.....	40
Cuadro 5. Evaluación cuantitativa de la matriz de la excelencia de mantenimiento.....	44
Cuadro 6. Resultados evaluación de estrategia corporativa.....	45
Cuadro 7. Resultados evaluación de administración y organización.....	45
Cuadro 8. Resultados evaluación planeación y programación.....	45
Cuadro 9. Resultados evaluación técnicas de mantenimiento.....	46
Cuadro 10. Resultados evaluación Medidas de desempeño.....	46
Cuadro 11. Resultados evaluación Tecnología de información y su uso.....	46
Cuadro 12. Resultados evaluación Involucramiento de los empleados.....	47
Cuadro 13. Resultados evaluación análisis de procesos.....	47
Cuadro 14. Resultados evaluación información sobre infraestructura e instalaciones.....	48
Cuadro 15. Resultados evaluación de organización de mantenimiento.....	48
Cuadro 16. Estimados generales.....	106
Cuadro 17. Resumen paros barco 1 a 6.....	108
Cuadro 18. Resumen paros barco 7 a 10.....	109

Cuadro 19. Objetivos.....	110
Cuadro 20. Inversiones herramientas.....	111
Cuadro 21. Valor recurso humano.....	111
Cuadro 22. Beneficios esperados del proyecto.....	112
Cuadro 23. Tasa interna de retorno del proyecto.....	113

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Tabla de Charlotte.....	117
Anexo B. Tabla de clasificación de fallas eléctricas según NETA (INTERNATIONAL ELECTRIC TESTING ASSOCIATION).....	119
Anexo C. Contenido de metales máximos permisibles en ppm por marca de motor.....	120
Anexo D. Margen para incremento de temperatura por resistencia (Basado en temperatura ambiente de 40°C).....	121
Anexo E. Cinco pasos del proceso de RCA.....	122

RESUMEN

TÍTULO:

DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN EQUIPOS CRITICOS DE BARCOS PESQUEROS DE LA FLOTA SEATECH SA.

AUTOR (ES):

GLAMAR BLANCO SILVA, JOHN SILVA MARULANDA

PALABRAS CLAVES:

Mantenimiento, Barcos Pesqueros, Predictivo, Motores, Vibraciones, Monitoreo, Aceite Análisis

DESCRIPCIÓN

Con el propósito de optimizar la gestión del mantenimiento en los barcos pesqueros de la flota de Seatech internacional Inc. Se diseño un plan de mantenimiento predictivo para los equipos críticos de los barcos de la flota.

El diseño del plan de mantenimiento predictivo se inicio con una evaluación del estado de la organización de mantenimiento. Luego de la evaluación se hizo el diagnostico, identificando las debilidades y las fortalezas de la organización de mantenimiento. Finalmente se plantearon acciones de mejora para optimizar la gestión de mantenimiento.

La implementación de las acciones de mejora se inicio con el estudio de criticidad a los equipos de los barcos. Los resultados del estudio de criticidad indican que en un barco los equipos más críticos son los tres motores auxiliares el motor hidráulico y el motor de la panga. Para los cinco motores críticos se analizaron los modos de falla y sus consecuencias, luego se determinaron las tareas para controlar los modos de falla encontrados y los responsables de ejecutarlas.

Las tareas predictivas que aplican para prevenir los modos de falla de los motores críticos son análisis de vibraciones, análisis de aceite y monitoreo de temperatura. Las tareas de monitoreo son llevadas a cabo por el personal de la embarcación y dirigidas por el ingeniero del barco y registradas.

Se realizaron procedimientos para la implementación de programas de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas, análisis de aceite y monitoreo de temperatura.

* Monografía

** Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Ing. Manual Martínez Carvajal

SUMMARY

TITLE:

DESIGN OF PREDICTIVE MAINTENANCE PROGRAMS IN CRITICAL OF FISHING VESSELS OF THE FLEET SEATECH SA.

AUTHOR (S):

GLAMAR WHITE SILVA, JOHN SILVA MARULANDA

KEY WORDS:

Maintenance, Fishing, Vessels, Predictive, Engines, Vibration, Monitoring, Oil, Analysis

DESCRIPTION

In order to optimize the management of maintenance on fishing vessels in the fleet of Seatech International Inc. It was designed a plan for predictive maintenance of critical equipment for ships of the fleet.

The design of predictive maintenance plan began with an assessment of the maintenance organization. After evaluating, it was made a diagnosis, identifying the weaknesses and strengths of the maintenance organization. Finally raised improvement actions in order to optimize the management of maintenance.

The implementation of the improvement actions began with the study of criticality equipment to the vessels. criticality study results indicate that in a boat , the most critical equipment are the three auxiliary engines, the hydraulic engine and the motor of the skift. For the five critical engines it was analyzed the failure modes and their consequences, then we identified the tasks to control the found failure modes and those responsible for implementing them.

The predictive tasks that apply to prevent the failure modes of the critical engines, are vibration analysis, oil analysis and temperature monitoring.

Procedures were carried out to implement predictive maintenance programs for mechanical vibrations, oil analysis and temperature monitoring. These tasks are carried out by the vessel staff and these tasks are managed by the vessel engineer and these tasks are recored.

* Monographic

** School of Mechanical Engineering. Specialization in Gerencia of Maintenance. Director: Ing. Manual Martínez Carvajal

INTRODUCCIÓN

Los programas de mantenimiento predictivo pueden ofrecer ventajas significativas a la industria pesquera. Se han desarrollado soluciones específicas para el mercado del transporte por mar que ya han demostrado su eficacia en importantes compañías navieras y que pueden ser aplicadas a la industria pesquera.

Un programa de mantenimiento predictivo dentro de una organización de mantenimiento, ha demostrado claramente que ofrece ventajas significativas a la industria en cuanto a la reducción de las actividades de mantenimiento y los costos, evitar paradas imprevistas, etc. Recientemente, la industria naval ha comprobado que se obtienen ventajas similares adoptando programas de mantenimiento predictivo hechos a la medida de sus necesidades.

Si se aplican de forma adecuada, los programas de mantenimiento predictivo ayudan a identificar y corregir tempranamente los problemas, además ayudan a mejorar la confiabilidad de la maquinaria, reduciendo significativamente los costos de mantenimiento. Al mantener los equipos funcionando en condiciones óptimas se reduce la probabilidad de fallas imprevistas, lo cual conduce a mayor confiabilidad y eficiencia.

Aplicados correctamente, los programas de mantenimiento predictivo también pueden contribuir, en general, a incrementar al máximo la disponibilidad de la maquinaria y los barcos, simplificando y agilizando los procedimientos y haciendo el entorno a bordo más seguro para la tripulación. Asimismo, reducen el impacto medioambiental del transporte marítimo.

1. JUSTIFICACIÓN

El programa de mantenimiento en los barcos de la Flota de Seatech Internacional Inc se basa en tareas de tipo preventivo basadas en tiempo, lo que implica que muchos repuestos son cambiados cuando aun pueden ofrecer muchas horas de vida útil y otros fallan antes de ser intervenidos. Por lo anterior las aplicando tecnologías predictivas puede bajar los costos de mantenimiento, alargando la vida útil de los componentes y también puede aumentar la confiabilidad de los equipos monitoreando periódicamente su condición.

Mejorando la gestión de mantenimiento podemos conseguir ahorros significativos en el presupuesto de mantenimiento, reduciendo los costos de reparación y la frecuencia de las fallas imprevistas. Al tener menos fallas imprevistas aumenta la confiabilidad y la disponibilidad de los equipos, lo que se traduce en que el barco estará menos horas en el muelle y más horas realizando faenas de pesca.

Generalmente los costos de un programa de mantenimiento predictivo se cancelan con un pequeño porcentaje de los ahorros conseguidos por la disminución de averías imprevistas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan de mantenimiento predictivo en los equipos críticos de los barcos pesqueros de la flota de seatech.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer estudio de criticidad en los equipos del barco.
- Determinar los modos de falla en los equipos críticos del barco.
- Determinar las tecnologías de mantenimiento predictivo aplicables para prevenir los modos de falla de los equipos críticos.
- Crear rutas y establecer frecuencias de medición.
- Determinar los sistemas mas apropiado para registro de tendencias.

3. CONTEXTO

3.1 RESEÑA HISTORICA

Donde hace sólo unos años había un lote en la Zona Industrial de Cartagena, Colombia, hoy se localiza una gran empresa líder en el procesamiento del Atún y en la fabricación de envases sanitarios de la más alta calidad: SEATECH INTERNATIONAL INC.

En un principio, para permitir el acceso de los buques súper atuneros, se dragaron 600.000 metros cúbicos de roca coralina y se construyó un muelle de 120 metros de largo por 15 metros de ancho; para el procesamiento se levantaron edificaciones en un área superior a los 18.000 metros cuadrados.

El proceso productivo se inicio en el año 1.991, contando hoy con un excelente equipo humano que labora con disciplina y responsabilidad para satisfacer las necesidades de los clientes nacionales e internacionales y vela además por la conservación del Medio ambiente y de especies marinas como el delfín, brindando a la sociedad un ambiente sano con desarrollo sostenible.

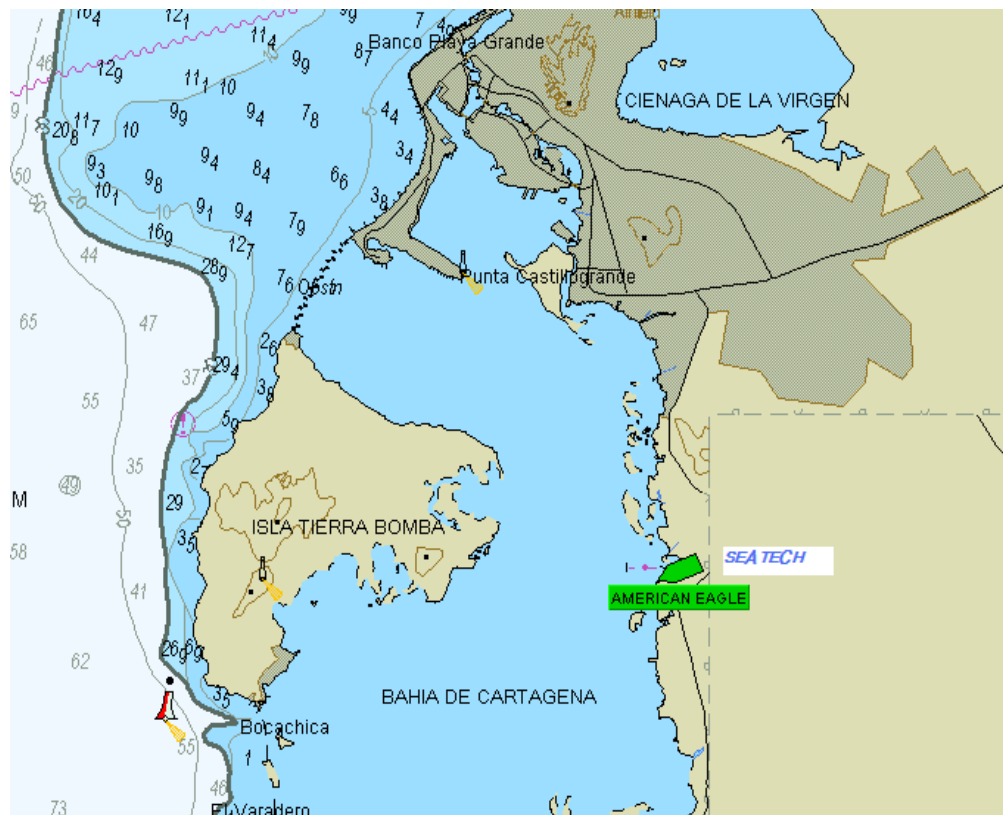
Actualmente, con el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y con el establecimiento del Sistema de Calidad que reúne los requerimientos de la norma ISO 9002 y los principios del Análisis de Riesgos y Control de Puntos Críticos para la Prevención de Problemas de Tipo Sanitario (HACCP), SEATECH busca aumentar la productividad y sobresalir por la más alta calidad en los productos que ofrece.

3.2 FABRICA SEATECH INTERNATIONAL INC.

Es una de las empresas más grandes e importantes de pesca y procesamiento de atún del continente. Está localizada en Cartagena de Indias, con su propia flota pesquera y fábrica de latas.

Planta de Procesamiento en Cartagena – Colombia.

Figura 1. Ubicación Geográfica Seatech Internacional Inc.



Los buques de **SEATECH**, dotados de alta tecnología, están equipados con mecanismos que protegen la vida de los delfines. Por ello los productos Van Camp's cuentan con el sello "Amigos del Delfín".

3.2.1 Pesca de atún

El atún es un pez muy abundante en el Océano Pacífico. Allí es capturado por barcos pesqueros, provistos de equipos de frío para congelar el pescado y mantenerlo en perfecto estado, sin que se deteriore hasta llegar a la planta de procesamiento en tierra firme. Las especies más importantes de atún son: Yellowfin (aleta amarilla), Big eye (patudo) y Skipjack (barrilete).

3.2.2 Recepción

El atún capturado y congelado que llega a bordo de los barcos, se descarga en la planta y se clasifica según la especie, el tamaño y la fecha de recibo en la planta.

3.2.3 Almacenamiento

El pescado clasificado, se coloca en congeladores para mantenerlo en perfecto estado hasta el momento del procesamiento.

3.2.4 Descongelamiento

Una vez se selecciona por especie y tamaño que se va a procesar, el atún congelado se coloca en unas tinas especiales con agua caliente para que se descongele.

3.2.5 Eviserado

El pescado descongelado se limpia retirando cuidadosamente las vísceras y se corta en secciones.

3.2.6 Cocción

El pescado se cocina por medio del vapor para facilitar la siguiente etapa de limpieza.

3.2.7 Limpieza

Esta etapa del proceso, permite obtener lomos y carne de atún limpios y de excelente calidad.

3.2.8 Enlatado

Los lomos de atún limpios se porcionan de acuerdo con el tamaño de la lata que se va a usar. Los lomos se colocan en la lata y se agrega el líquido de cobertura, que puede ser agua o aceites de oliva, de girasol o de soya. Luego la lata se sella herméticamente.

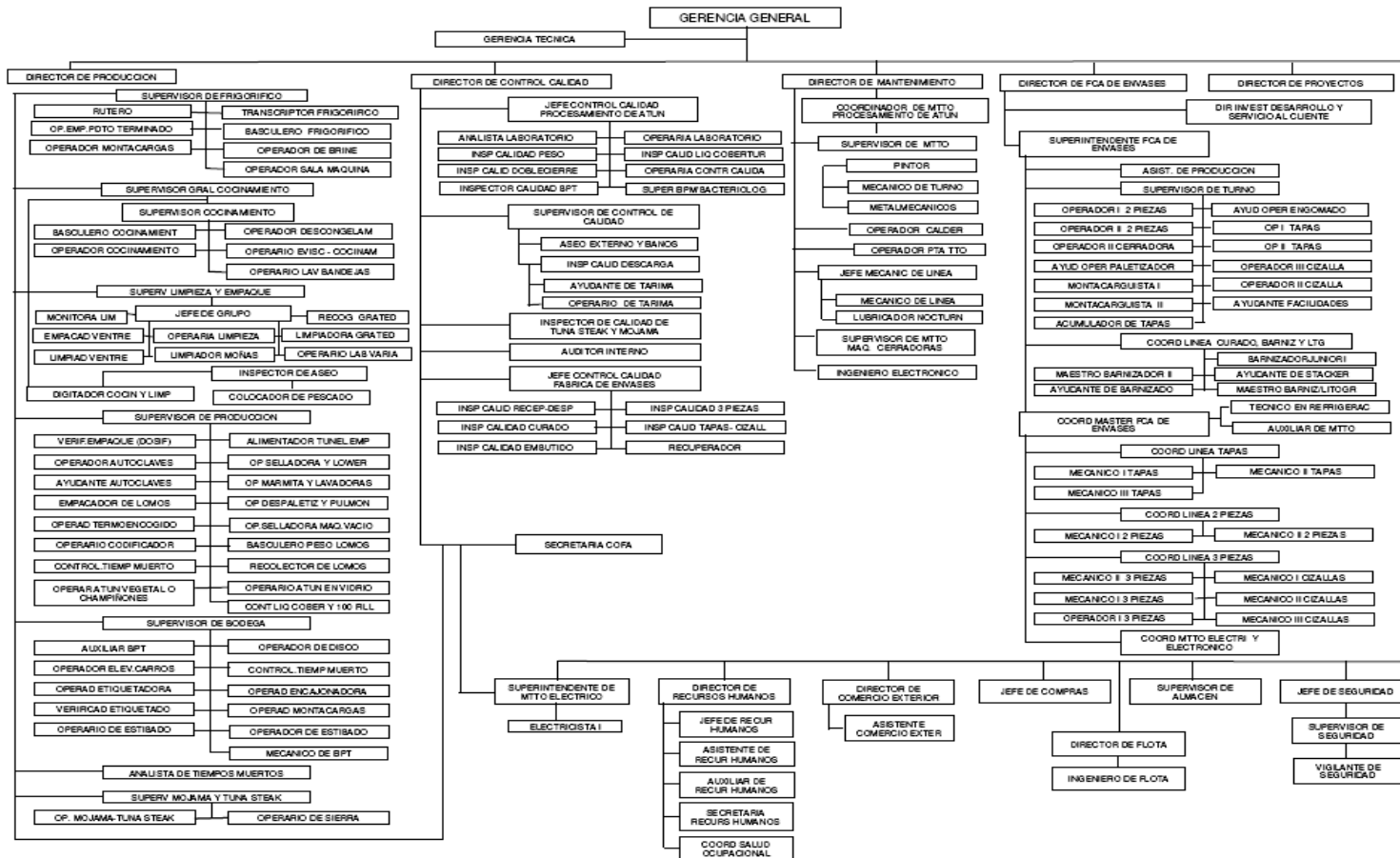
3.2.9 Esterilización

Las latas selladas, se colocan en autoclaves y se esterilizan con vapor a alta temperatura, para destruir todos los microorganismos presentes en el alimento y dentro de la lata. Después las latas se lavan y enfrían con agua helada.

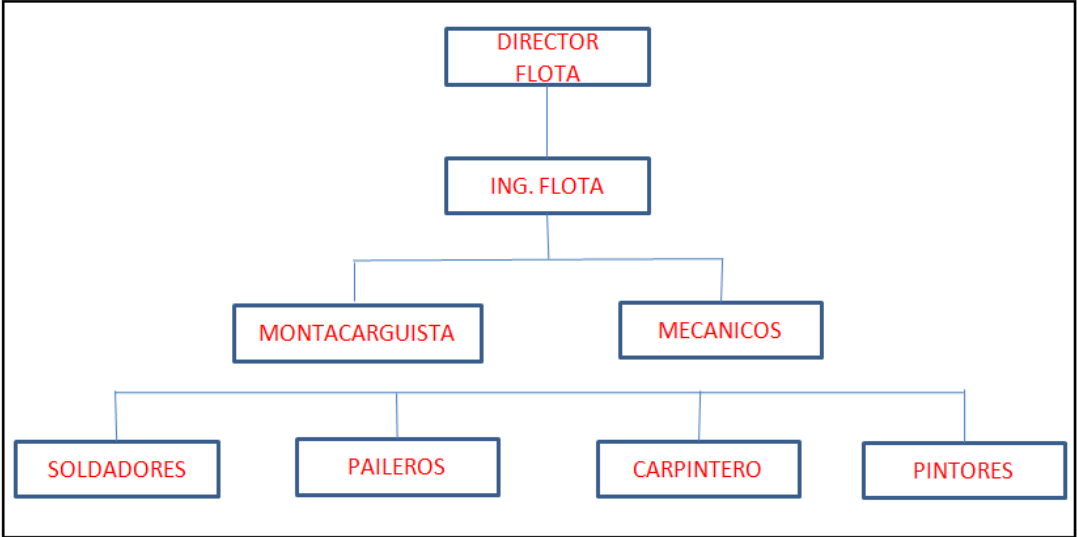
3.2.10 Empaque

Esta es la última etapa del proceso, en la cual se colocan los rótulos a las latas y se empacan en cajas de cartón reciclable.

Cuadro 1. Organigrama Seatech International



Cuadro 2. Organigrama área de flota



4. MARCO TEORICO

4.1 EL MANTENIMIENTO BASADO EN LA CONDICIÓN LLEGA AL TRANSPORTE MARITIMO.

Los programas de mantenimiento aplicados mediante procesos de monitorización de la condición pueden ofrecer ventajas significativas a la industria naval. Se han desarrollado soluciones específicas para el mercado del transporte por mar que ya han demostrado su valía en importantes compañías navieras.

El monitoreo de la condición, combinada con procesos de mantenimiento ha demostrado claramente que ofrece ventajas significativas a la industria en cuanto a la reducción de las actividades de mantenimiento y los costos, evitar paradas imprevistas, etc. Recientemente, la industria naval ha comprobado que se obtienen ventajas similares adoptando estrategias de mantenimiento basado en la condición hechas a la medida de sus necesidades.

Si se aplican de forma adecuada, los procesos de mantenimiento basados en la condición (CBM) pueden contribuir a identificar y rectificar problemas tempranos, y a mejorar la confiabilidad de la maquinaria, reduciendo significativamente los costos de mantenimiento. Esto lo han confirmado los principales organismos de clasificación. Al mantener la maquinaria funcionando en condiciones óptimas se reduce la probabilidad de averías operativas, lo cual conduce a mayor confiabilidad y eficiencia.

Aplicadas correctamente, las estrategias de mantenimiento de la condición también pueden contribuir, en general, a incrementar al máximo la disponibilidad de la maquinaria y los buques, simplificando y agilizando los procedimientos de clasificación y haciendo el entorno a bordo más seguro para la tripulación. Asimismo, reducen el impacto medioambiental del transporte marítimo.

Retos del monitoreo de la condición en entornos marítimos

En la gestión de un programa de monitoreo de la condición, considerando la tendencia de la tripulación a cambiar a menudo de buque, la industria naviera tiene que enfrentarse al importante reto de mantener uniformemente en cada buque un alto nivel de conocimientos sobre el monitoreo de la condición. Sin la implantación de un estándar común y sin los conocimientos de un especialista experimentado, los datos de diagnóstico recopilados pueden ser difíciles de interpretar para realizar un mantenimiento optimizado, y esto suele conducir a que los beneficios previstos no lleguen a materializarse.

Para estar seguro de obtener todas las ventajas, se tiene que desarrollar un programa en el que se haya optimizado el momento de recopilación de los datos, y de su distribución, almacenamiento, interpretación y uso.

La aplicación apropiada de un programa de CBM varía entre buques, y depende de los objetivos y experiencia en métodos de mantenimiento de la compañía. Los elementos básicos para un programa recomendado los establecen la compañía naviera y el proveedor del servicio, estudiando a fondo las necesidades de mantenimiento y operación, y los objetivos perseguidos. Dependiendo del tipo de buque, el número de equipos auxiliares a bordo oscila entre 75 y 150 unidades por navío. Entre los equipos auxiliares típicos de un programa de CBM pueden citarse:

- Sistemas de lubricación de motores
- Bombas de carga
- Ventiladores y sopladores de salas de máquinas
- Depuradores de salas de máquinas
- Sopladores de motor principal
- Turbo sobre alimentadores
- Unidades de refrigeración
- Bombas centrífugas

Para resolver el problema común de conseguir y conservar expertos a bordo, los servicios de asistencia de Centros de diagnóstico remoto reducen, y en algunos casos eliminan, la necesidad de contar con personal muy preparado en monitorización de la condición o con grandes conocimientos en esta especialidad.

Implementación de un programa un CBM se personaliza en concordancia con los requisitos de cada compañía naviera. El punto de partida para el desarrollo del programa es determinar y analizar la maquinaria de importancia crítica del buque, y establecer puntos de medición y valores de tendencia. Los datos se recopilan mediante colectores de datos portátiles. Dichos colectores están especialmente diseñados para que sean fáciles de usar, al mismo tiempo que permiten un análisis sofisticado de los datos de vibraciones de la maquinaria.

Mediante una recopilación automática y continua de datos, los sistemas de monitoreo de la condición fijos y en línea ofrecen un enfoque óptimo para la seguridad y confiabilidad de la maquinaria de importancia crítica de un buque. Ello permite en cualquier momento el análisis e interpretación de los datos, ya sea en el buque o mediante diagnóstico remoto a través del sistema de comunicación. Los datos recogidos sobre la confiabilidad de la maquinaria se transmiten a través del sistema de comunicación del navío hasta un centro de diagnóstico remoto, donde son monitoreados e interpretados por expertos en confiabilidad de maquinaria. Informes personalizados identifican los problemas potenciales, recomiendan medidas apropiadas que se deben adoptar y facilitan la planificación de los métodos de mantenimiento. A partir de estos informes se pueden desarrollar programas de mantenimiento de flotas y aplicar las medidas precisas. Diferentes proveedores pueden ofrecer servicios de especialista para el mantenimiento y alineación avanzados de maquinaria y equipos.

Un caso real BP Shipping es una compañía con gran experiencia en el uso de monitoreo de la condición como parte de una estrategia de mantenimiento predictivo para mejorar la disponibilidad y eficiencia de su flota. Con esta

estrategia como punto de partida, el reto de la naviera era pasar a un nivel más alto, adoptando un enfoque proactivo. Con una estrategia de mantenimiento proactivo, el deterioro del estado de la maquinaria hace que se active una solución correctiva a corto plazo y que se inicie un estudio detallado a largo plazo para comprender la causa raíz de los fallos. El objetivo es mejorar aún más la confiabilidad de la maquinaria y el buque, debido a que se identifican y previenen los problemas repetitivos. Teniendo esto presente, BP shipping buscó una empresa especializada en el análisis de datos exactos y puntuales, y con conocimientos en maquinaria e ingeniería de aplicaciones. Por ello, optó por colaborar con SKF para la mejora de su sistema de monitoreo de la condición de la maquinaria, y como apoyo para su estrategia de mantenimiento de la flota.

Ahora se usan procedimientos de trabajo estandarizados para recopilar los datos en los buques, que luego se transmiten a través del sistema de comunicación de a bordo y se analizan en tierra por especialistas de SKF. Los resultados se presentan en informes personalizados de fácil uso que ayudan a los ingenieros del buque a concentrarse en la maquinaria específica con mayor necesidad de mantenimiento. Si se producen averías importantes y repetidas, los ingenieros de aplicaciones de SKF también participan en los análisis de la causa raíz del fallo, y contribuyen a solucionar los casos de confiabilidad en curso.

Finalmente, la retención de datos de buena calidad en el historial del estado de la maquinaria en servicio también reduce la necesidad y obligación de realizar exámenes visuales complejos, lo cual ahorra tiempo y costos considerables durante los continuos y preceptivos ciclos de inspección de la maquinaria en los puertos.

Otra ventaja del sistema CBM es que mejora el entorno en cuanto a salud, protección y seguridad. Usando sensores fijos que permiten recopilar los datos fuera de zonas y máquinas peligrosas, los ingenieros navales y otro personal no

tienen que entrar en estas zonas o acercarse a las máquinas monitoreadas para evaluar su estado, reduciéndose así los riesgos de los operarios.

SKF ofrece mantenimiento predictivo y proactivo de maquinaria auxiliar, y aplica monitorización de la condición, respaldada por una amplia gama de servicios y productos. Con SKF "a bordo" se puede lograr el objetivo de alcanzar los máximos niveles de CBM.

29 febrero 2008 #2/08¹

4.2 TERMOGRAFÍA

Técnica que extiende la visión humana a través del espectro infrarrojo. La Termografía posibilita la obtención de imágenes térmicas llamadas Térmogramas, los cuales permiten un análisis cuantitativo para determinación precisa de temperaturas con identificación de niveles isotérmicos.

Por medio de esta técnica es posible determinar la temperatura de objetos estacionarios ó en movimiento a distancia, lo cual es de gran importancia cuando hay presencia de altas temperaturas, cargas eléctricas, gases venenosos, ect.

¹David L H Johansson, Staffan Holmberg, Jenny Ridderstråle, SKF Marine Segment, Gotemburgo, Suecia

4.2.1 Aspecto histórico.

En 1840 John Herschel obtiene la primera imagen térmica por medio de un proceso basado en la evaporación de una fina película de óleo.

Entre 1900 y 1920 varios sistemas infrarrojos fueron desarrollados con fines militares en la detección de artillería de navíos.

Durante la segunda guerra mundial varios programas secretos se concentran en el desarrollo de detectores infrarrojos ultra-sensibles. Estos detectores pasarán a ser disponibles para uso civil a finales de la década de los 50, cuando fueron incluidos en sistemas infrarrojos industriales.

Los sistemas existentes a mediados de la década del 60 necesitaban aproximadamente 10 minutos para la formación de una imagen térmica, lo que los limitaba a objetos fijos y distribuciones de temperatura más ó menos estables. En 1965 fue introducido en el mercado el primer instrumento capaz de formar imágenes térmicas en tiempo real (instantáneas) tanto de objetos fijos como en movimiento. A partir de este año y principalmente en la década de los 70, la Termografía se consolidó como una técnica de gran valia y confiabilidad en siderúrgicas, compañías de generación y distribución de energía eléctrica, industrias petroquímicas, etc.

4.2.2 Inspecciones termográficas.

Una falla en cualquiera de las partes componentes de un sistema de producción, lleva consigo implícita una pérdida de tiempo y dinero, además del riesgo en la seguridad del personal cercano a ella. Una inspección termográfica evita interrupciones en el proceso de producción ya que para llevarla a cabo es fundamental que los equipos estén funcionando, si es posible a su máxima carga,

ya que su filosofía es determinar la normalidad de su funcionamiento a través de la energía, en forma de calor, que se genera por el trabajo realizado. Por lo tanto el objetivo de un programa de inspección termográfica será el de reducir el riesgo de paradas no programadas, aumentar la productividad, mejorar la seguridad y catalogar y definir tendencias de historias térmicas.

Usualmente una falla tiene un tiempo de deterioro lento, debido a los esfuerzos a los que se ve sometido el material y las curvas de carga, no uniformes, que debe llevar a cabo en un proceso. Esto nos da pie para una identificación y clasificación de componentes defectuosos por comparación de las temperaturas de operación de estos y las del medio ambiente ó un objeto similar en su composición y condiciones de trabajo. Dentro de los sistemas candidatos para una inspección con termografía tenemos : equipos para distribución de potencia, subestaciones, closets eléctricos, centros de control de motores, barrajes encapsulados, estaciones generadoras, cojinetes, pérdidas por energía de fricción y desgastes, calor excesivo, distribución de calor, hornos, etc.

El éxito de una inspección termográfica se fundamenta en decidir que equipo se va inspeccionar, estableciendo las prioridades y frecuencias de inspección, trazar la ruta a seguir, programando inteligentemente, y hacer seguimiento de los resultados obtenidos, analizando las tendencias térmicas en el ciclo de vida de los equipos y componentes.

- Detectores infrarrojos.

Transforman la energía radiante (W) en una forma de energía que se pueda medir.

- Termodetector.

Relacionan el calentamiento provocado por la radiación incidente, con la alteración de una propiedad física.

Termómetro

Termocupla

Pirometro óptico

Su temperatura de operación es la ambiente.

- Fotodetectores

Reaccionan directamente la radiación incidente con los electrones libres en el material.

Fotoemisivos

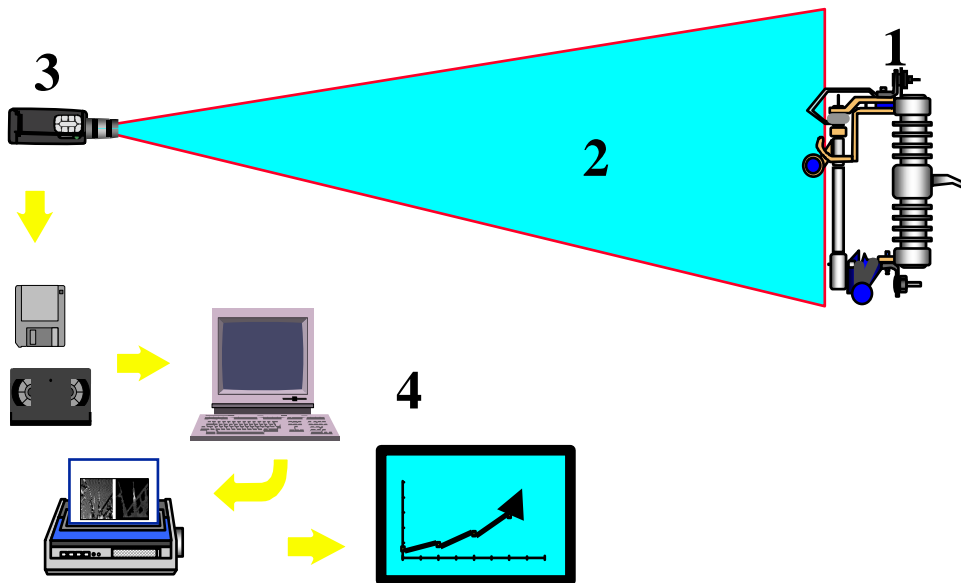
Fotoconductivos

Fotovoltaicos

Su temperatura de operación es muy baja comparada con la ambiente.

4.2.3 Esquema para medir temperatura con sistema IR

Figura 2. Esquema para medir temperatura con sistema IR



- Objetivo a medir y medio ambiente

Objetivo al cual se le pretende medir la temperatura, atmósfera y cuerpos que rodean al objetivo.

Todos los cuerpos con temperatura por encima del cero absoluto ($-273,16^{\circ}\text{K}$), emiten radiación electromagnética, si la emisividad del objeto a medir es inferior a uno (emisor no perfecto) él va a reflejar la energía del ambiente que este cerca. Este fenómeno debe ser considerado especialmente si la emisividad del objeto es menor a 0,9.

- *Emisividad*

La emisividad es la relación entre la cantidad de radiación emitida (W) por el objeto a medir y la que sería emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y λ .

$$\varepsilon = \frac{W_{\text{objeto}}}{W_{\text{cuerponegro}}}$$

ε = Emisividad

La emisividad tiene siempre un valor entre 0 y 1, ya que el cuerpo negro es el emisor perfecto y por lo tanto el que emite la mayor cantidad de energía posible para una temperatura y λ dadas.

Los cuerpos se clasifican de acuerdo a la manera en que su emisividad varía con la longitud de onda:

- Cuerpo Negro, $\varepsilon = 1$
- Cuerpo Gris, $\varepsilon < 1$, constante con λ
- Radiador Selectivo (objeto a medir), $\varepsilon < 1$, varía con λ

De acuerdo con Kirchhoff, para cualquier material, $\varepsilon = \alpha$, dependiendo dicho valor de la temperatura y la λ .

Teniendo en cuenta la emisividad, la ley de Stefan-Boltzmann queda:

$$W = \varepsilon\sigma T^4$$

Nota: Ver tabla de emisividades para diferentes materiales anexa (estos valores dependen del rango de λ del equipo usado para obtenerlos).

- Cámara IR

Receptor óptico

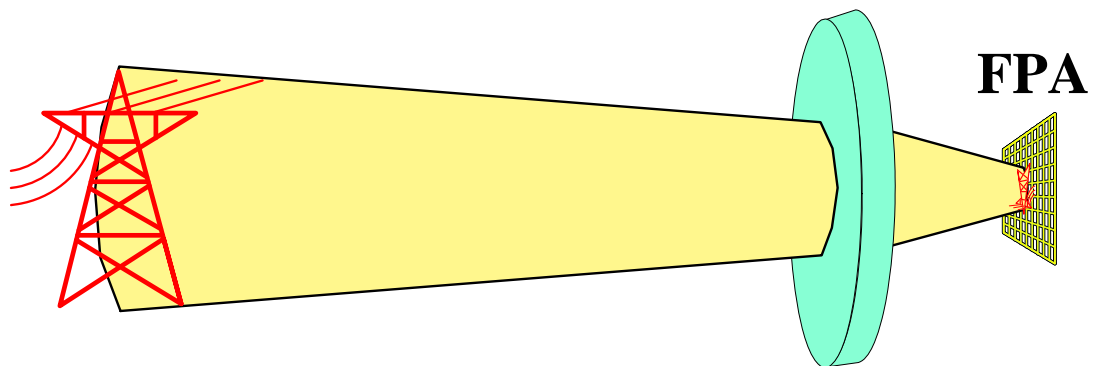
Compuesto de lentes, filtros y diafragma.

Los lentes y filtros son elaborados con materiales transparentes a los IR (Si ó Ge) con recubrimiento antireflexivo para mejorar las características ópticas del sistema. Los filtros limitan la λ a ciertos rangos para aumentar la capacidad de medición temperatura, evitar reflejos solares, medir en superficies de vidrio, plásticos, etc.

El diafragma controla la cantidad de radiación que llega al detector, por lo tanto los rangos de temperatura en los que se puede obtener medidas.

- FPA (Focal plane array)

Figura 3. Arreglo matricial CMOS de detectores IR.



Fotodetectores: de tipo conductivo y fotovoltaico, convierten fotones en electrones. El ancho de banda en el cual se desempeñan es corto (SWB), $0,75 - 0,6 \mu\text{m}$, su temperatura de operación es baja, alrededor de -186 a $-196 \text{ }^\circ\text{C}$, por lo que

necesitan de un sistema de refrigeración llamado "Microcooler", que consiste en un pequeño pistón que hace circular un gas refrigerante a presión y velocidad determinadas manteniendo la temperatura de operación constante.

Termodetectores: convierte fotones en señales de voltaje, variando su resistencia al paso de una corriente. El ancho de banda en el cual se desempeñan es largo (LWB), 0,8 – 0,14 μm , su temperatura de operación es la ambiental, por lo que no necesitan de un sistema de refrigeración, este sistema se llama "Microbolometro"

- Unidad de video

Compuesto de un procesador de señal, monitor de video y los controles de selección y ajuste de imagen. La función básica del monitor de video es la presentación de la información térmica detectada por el FPA.

- Sistemas complementarios

Son aquellos que me permiten interactuar con la cámara IR y generar información a partir de ella. Van desde el almacenamiento de imágenes y grabación de videos hasta el manejo de software para análisis de imágenes, generación de reportes, análisis de tendencias y cronogramas de mantenimiento con archivos.

- Factores que afectan medir temperatura con sistemas IR.

Reflejos solares, .puede causar una falsa medida de temperatura. Se corrigen con filtros ó cambiando la posición de la cámara hasta que desaparezcan.

Atenuación atmosférica, ya que la atmósfera no es totalmente transparente a la radiación infrarroja, parte de esta es absorbida y reflejada en el trayecto del objeto al receptor óptico de la cámara. Esta influencia es usualmente despreciada para distancias menores a 20m. Las regiones del espectro IR que menos se ven afectadas por este fenómeno son aquellas en que los detectores IR (FPA) se desempeñan, precisamente diseñados para ello. Los equipos modernos de IR hace una corrección automática introduciendo los valores de temperatura ambiental, humedad relativa y distancia al objeto.

Cuerpos transparentes, la medición de temperatura a través de ellos debe tomarse con precaución, ya que son buenos transmisores de radiación infrarroja solo para ciertas longitudes de onda. Se corrige con filtros.

Influencia de la velocidad del viento, La disipación de calor por convección se ve afectada en gran medida por la velocidad del viento, lo que provoca una

refrigeración del objeto a medir. Se corrige con fórmula para velocidades del viento que no excedan un límite permitido.

Influencia de la corriente en sistemas eléctricos, La potencia disipada por un componente es directamente proporcional al cuadrado de la corriente, originándose un aumento considerable de temperatura al aumentar esta. Se corrige aplicando el factor de corrección de carga, para cargas que no estén por debajo de un límite permitido.²

4.3 VIBRACIÓN MECÁNICA.

Se define como la oscilación de un sistema mecánico alrededor de una posición de equilibrio. Esta puede estar definida por una ubicación estructural y es producto de la transmisión de fuerzas cíclicas a través de los mecanismos que constituyen una máquina. Todas las máquinas tienen un nivel típico de vibración y un espectro característico cuando está en condiciones óptimas de operación.

4.3.1 Conceptos básicos en el análisis de vibraciones mecánicas.

A través del tiempo los equipos presenta mayores desgastes evidenciándose en desalineamientos, solturas de las bases y fundaciones e incrementos en tolerancias, todos estos fenómenos se reflejan en incremento de la energía de vibración, la cual es disipada por toda la máquina, excitando resonancias y adicionando cargas dinámicas sobre los rodamientos. Este efecto refuerza

² (Ing. Jhon A. Uribe Coordinador Proyectos Especiales y Termografía)

mutuamente (principio causa-efecto) las ondas producidas y las de resonancia, haciendo que la máquina progrese en soldaduras y desgastes hasta el daño final.

La vibración es un producto destructivo de la transmisión de fuerzas a través del equipo. Los elementos del mismo que absorben y exteriorizan este tipo de fuerzas, por ejemplo la medición de la resultante vibratoria de un rodamiento sobre la carcasa externa que lo aloja.

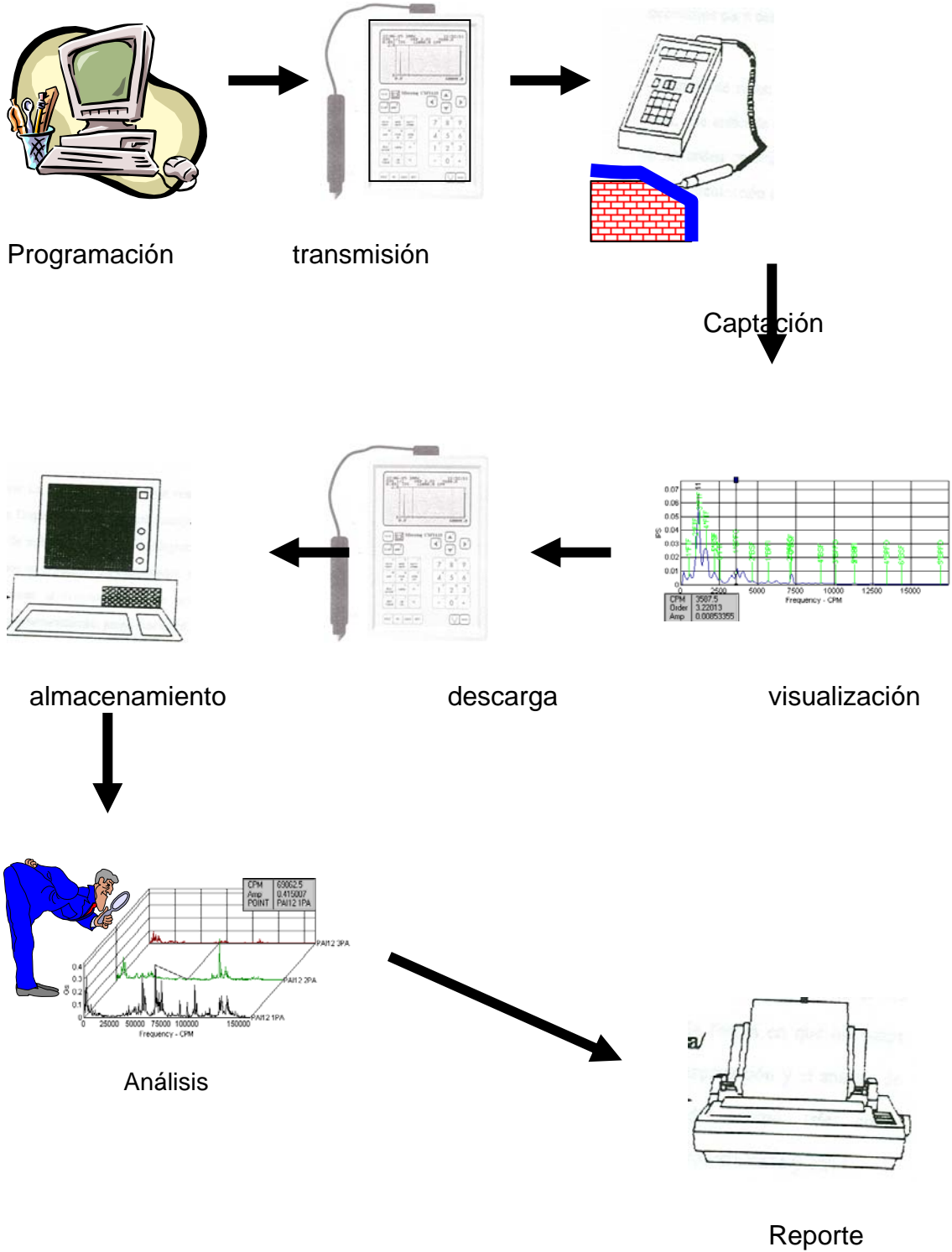
Por medio de modernos equipos la información entregada por la vibración es medida, almacenada y analizada en forma de espectros que relacionan directamente la amplitud de dicha vibración, con el número de veces presentadas en un tiempo establecido por el equipo.

Mientras que la fuerza de excitación sea constante o varíe dentro de ciertos límites, el nivel de vibración medido será también constante y variará dentro de los límites similares. Adicionalmente para la mayoría de las máquinas la vibración tiene un nivel típico y su espectro tiene una forma característica cuando están en buenas condiciones.

4.3.2 Métodos de medición de las vibraciones

La medición y el análisis de vibraciones comprende las siguientes fases: Programación (datos), transmisión de datos, Captación (toma de datos), visualización, descarga y análisis.

Figura 4. Métodos de medición de las vibraciones.



Programación. A través de diferentes software de vibraciones se realizan las configuraciones de puntos y rutas de las máquinas a medir en una jornada establecida. Esta fase puede ser obviada solo si los puntos a medir se configuran en sitio, siendo estos definidos fuera de ruta.

Transmisión de datos. Una vez configurada la ruta se transmiten los datos a los equipos de toma de registros.

Captación. Este se constituye en el eslabón crítico de la cadena, pues es la conversión de un movimiento o fuerza de los equipos medidos en una magnitud de vibraciones (aceleración velocidad o desplazamiento) a través de una magnitud eléctrica mediante un sensor apropiado.

Para que esta sea confiable es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

Elegir adecuadamente el punto y dirección de captación, según el tipo de registro y ensayo.

Fijar o posicionar correctamente el sensor.

No perturbar el sistema en el momento de la toma.

Programar adecuadamente las características para el sensor como sensibilidad y rango de frecuencia.

Buscar el momento operativo adecuado para la toma de registros, en el que se pueda obtener una mayor información confiable de las condiciones más críticas de operación.

Visualización. En el instante de la toma de datos es importante mantener una visualización sobre el espectro y la característica del registro adquirido, para identificar problemas graves que se puedan presentar por desgaste, deterioro o

soltura de los apoyos. Esta visualización permite realizar un pre diagnóstico, así como evaluar si la medición es en realidad la correcta.

Descarga. Los datos obtenidos de la ruta en el equipo se deben descargar sobre el computador o software, para almacenar sus tendencias y espectros con el fin de realizar un mejor análisis.

Almacenamiento. En esta etapa el software almacena la información obtenida en cada ruta para realizar las tendencias que nos indican la evolución de la condición dinámica de los equipos.

Análisis. Nos permite a través de los espectros, el conocimiento teórico, las tendencias y la experiencia, definir las condiciones dinámicas que rigen la operación de los equipos. En esta fase se pueden discriminar problemas de rodamientos, montaje, desgastes, rozamientos, problemas eléctricos, de flujo, etc. Se establecen los equipos críticos, los normales y los que deben tener un seguimiento continuo.

Reporte. Establece las acciones a realizar en para cada equipo, con el fin de disminuir las cargas dinámicas de los mismos y mantener una operación óptima. Este debe ser claro y preciso en el diagnóstico del punto que debe ser atendido. Es recomendable tener una comunicación permanente con el personal que hace mantenimiento, para hacer un feed back de la condición en que se encontró el equipo reparado y de los cambios que se realizaron.

4.3.3 Criterios y normas de severidad vibratoria

Como en todas las mediciones de parámetros de monitoreo de un equipo, deben existir límites de funcionamiento que son alarmas para entrar a definir el estado operativo, permitiendo con ello definir cuanto tiempo aproximado se puede dejar de funcionar un equipo o máquina. Los límites para vibraciones o cualquier otro parámetro medido generalmente están bajo dos tipos de razones:

Límites absolutos son establecidos para avisar de condiciones que podrían resultar en fallas.

Límites para el cambio en los valores, los cuales son establecidos para proveer un aviso temprano de variaciones normales.

Existen numerosos estándares en vibraciones dependiendo de lo que se quiera evaluar a los objetivos que se persigan. Algunos estándares son publicados por grupos industriales y organizaciones tales como:

API American Petroleum Institute

AGMA American Gear Manufacturers Association

NEMA National Electric Manufacturers Association

ANSI American National Standards Institute

ISO International Standard Organization

VDI Asociación Alemana de Ingenieros

Dentro de las normas Utilizadas como estándares tenemos:

ISO 2372: Mechanical vibration of Machines Whit Operating Speeds from 10 to 200 rev./s. Basis for specifying evaluation standards. Este estándar limita la severidad vibratoria para evitar fatiga de los elementos de la máquina y bases soporte. La severidad vibratoria para este efecto queda cuantificado por el valor RMS de la velocidad medida de sus descansos.

ISO 3945: Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 rev./s. Measurement and evaluation of vibration severity in situ. Este estándar similar al anterior, es para un tipo mas específico de máquinas. Para

grandes máquinas, de mas de 300 Kw y está diseñado para evaluar su condición tomada en sitio.

VDI 2059: Sharf Vibration of Turbosets. Parte 1. Vibraciones para ejes de turbo conjuntos industriales.

ISO 7919: Mechanical Vibration of non-reciprocating machines. Measurement on rotating shaft and evaluation. Estos estándares limitan la severidad vibratoria para evitar sobrecargas dinámicas en los descansos hidrodinámicos que pueden fatigar el metal blanco de ellos. La severidad vibratoria para este efecto queda cuantificado por el desplazamiento vibratorio máximo medido directamente al eje. Empleado para turbo máquinas VDI 2059 es homólogo de la ISO 7919.

VDI 2063 Measurement and Evaluation of Mechanical vibrations of reciprocating piston engines and Piston compressor. Medición y evaluación de las vibraciones mecánicas de motores y compresores de pistones con movimiento alternativo. Este estándar limita la severidad vibratoria para evitar daño de los elementos sobre máquina o conectados a ella, ya que el límite vibratorio en este tipo de máquinas que produce daños en la máquina misma es bastante mayor. La severidad vibratoria para efecto queda cuantificada por valores del desplazamiento y aceleración picos y por el RMS de la velocidad en el rango de frecuencias de 2 a 300 (Hz).

ISO 2373: Este estándar diseñado para evaluar la severidad vibratoria en máquinas trifásicas de corriente alterna con altura de ejes entre 80 y 400 mm, a través del valor RMS de la velocidad medido en la caja de sus descansos.

ISO 2631/1: Este estándar limita las vibraciones de las superficies que están en contacto con el ser humano. La severidad vibratoria para este efecto queda cuantificado por la aceleración en el rango de frecuencia de 1 a 80 Hz.

- Comentarios generales normas ISO 2372 E ISO 3945

En estas normas las características más importantes son:

Estos estándares son aplicables a máquinas rotatorias que giran entre 10 y 200 rev/seg (600 a 12000CPM). No son aplicables a máquinas que tienen elementos con movimientos alternativos (compresores reciprocantes, motores Diesel), ni son aplicables a máquinas que funcionan con grandes masas desbalanceadas (harneros vibratorios, centrífugas, etc).

El parámetro utilizado para evaluar la severidad de la vibración respecto a la "necesidad de mantener libre de problemas la operación de las máquinas que pueden estar sometidas a la degradación de sus componentes", es el valor RMS de la velocidad vibratoria medida en el rango de frecuencias de 10 a 1000 Hz (600 a 60.000 CPM): Por lo tanto, es necesario verificar si los equipos de medición utilizados pueden satisfacer estos requerimientos.

Los puntos donde se realiza normalmente esta medición es en la caja de los descansos de la máquina en las direcciones vertical, horizontal y axial. Para evaluar la severidad vibratoria en la máquina, se toma el mayor valor medido.

De la tabla A se observa que los rangos vibratorios (0.28; 0.45; 0.71; 1.12; 1.18; etc) están separados aproximadamente en 1.6 veces. Es decir, se estima que se produce un cambio en el nivel vibratorio, cuando las vibraciones varían en un 60 % aproximadamente. Estas variaciones deben establecerse lo suficientemente próximos, de manera que, un cambio en el nivel vibratorio sea reconocido con bastante prontitud como para permitir acciones correctivas, pero al mismo tiempo debe ser capaz de tolerar variaciones normales por condiciones de operación de la máquina (por ejemplo, los cambios de temperatura a lo largo del día cambian la condición de alineamiento de los rotores y por lo tanto, el nivel vibratorio; lo mismo

sucede al cambiar el flujo de operación en la centrífuga; o la carga en la caja de engranajes.

En la tabla A también se observa que se produce un cambio en la condición de la máquina (pasa de una evaluación buena a satisfactoria, o de satisfactoria a insatisfactoria o inaceptable) cada vez que se producen dos cambios en el nivel vibratorio, es decir cuando la vibración aumenta 2.5 veces.

Un nivel vibratorio buen significa que la maquina va a funcionar libre de problemas vibratorios. Específicamente que los elementos de la máquina diseñados o seleccionados para tener una determinada vida finita nominal, van a tener la duración esperada (por ejemplo si los rodamientos están seleccionados para durar 5 años van a durar 5 años) y los elementos de la máquina diseñados para tener una vida infinita no van a fallar (el eje de la máquina no se va a romper, las fundaciones no se van a agrietar, los pernos no se van a cortar, etc.).

A medida que el nivel vibratorio aumenta y la máquina pasa a una condición inaceptable, significa que los elementos de la máquina especificados para tener vida finita, tendrán una duración muy por debajo de su vida esperada (por ejemplo, los rodamientos seleccionados para tener una vida de 5 años, durarán unos pocos meses o solamente días, dependiendo de la máquina y del nivel vibratorio) y que los elementos especificados para vida infinita empezarán a fallar (carcasas agrietadas, soldaduras rotas, etc.)

Debe tenerse presente que el valor medido es un valor global, similar en el caso del ser humano a la temperatura de presión arterial. Esto significa que un valor vibratorio bueno no asegura que no se produzca un problema específico en la máquina. Para asegurarse que ello no ocurra es necesario controlar otros parámetros más específicos.

Vemos que los rangos de igual severidad vibratoria corresponden a un nivel determinado de la velocidad RMS, independiente de la frecuencia de la Vibración. Sin embargo, si se midiera desplazamiento o aceleración, sería necesario conocer la frecuencia de la vibración para utilizar este estándar. En la tabla B se aprecia un cuadro comparativo entre diversos valores de velocidad, aceleración y desplazamiento a diferentes frecuencias.

Cuadro 3. Rangos de severidad vibratoria para máquinas normales ISO 2372 e ISO 3945

Rango de clasificación	Rango de velocidad efectiva RMS (mm/s)	Tipos de Máquinas			
		Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0.28	0.18 a 0.28	A	A	A	A
0.45	0.28 a 0.45	A	A	A	A
0.71	0.45 a 0.71	A	A	A	A
1.12	0.71 a 1.12	B	A	A	A
1.8	1.12 a 1.8	B	B	A	A
2.8	1.8 a 2.8	C	B	B	A
4.5	2.8 a 4.5	C	C	B	B
7.1	4.5 a 7.1	D	C	C	B
11.2	7.1 a 11.2	D	D	C	C
18	11.2 a 18	D	D	D	C
28	18 a 28	D	D	D	D

Tipo de máquinas (entre 10 y 200 rev/s)

Clase I Máquinas pequeñas bajo 15 Kw (20HP)

Clase II Máquinas de tamaño mediano de 15 a 75 Kw o máquinas rígidamente montadas hasta 300 Kw

Clase III Máquinas grandes sobre 300 Kw. Montadas sobre soportes rígidos.

Clase IV Máquinas grandes sobre 300 Kw. Montadas en soportes flexibles.

Calidad de la vibración

A	Buena
B	Satisfactoria - Aceptable
C	Insatisfactoria – Ligeramente crítica
D	Inaceptable - Crítico

Tomado de Análisis de Maquinaria rotatoria Nivel 1. Pedro Saavedra. Departamento de Ingeniería de U. Concepción. Chile.

4.3.4 Diagnostico de fuentes

- Comunes generadores de vibraciones:

Para ejecutar un buen diagnóstico se debe tener o reunir en campo, una información básica de la máquina que nos ayudará a discriminar de una forma más exacta las fuentes generadoras de altas vibraciones.

Algunos de los puntos básicos de la información son los siguientes:

Velocidad del eje de la máquina que se mide.

Referencia de los rodamientos.

Identificar el tipo de apoyo, ya sea rodamientos o cojinetes.

Los números de dientes de los engranajes de un reductor o incrementador.

El tipo de engranaje y número de etapas del reductor.

El tipo de acople de los equipos.

La regularidad de la operación del equipo con carga o en vacío.

Las condiciones operativas.

Los parámetros eléctricos de motores y generadores.

Condiciones operativas de fluidos hidráulicos.

Características internas de motores.

Características internas de los equipos reciprocantes (motores, bombas o compresores).

Una vez definidas estas características y parámetros, se pueden identificar las frecuencias relacionadas con cada una de ellos. Esto permitirá identificar cual es la fuente del problema.

Las fuentes más comunes de problemas en vibraciones se pueden clasificar en las siguientes categorías:

Problemas relacionados con el rotor de la unidad.

Desbalanceo.

Desalineamiento.

Ejes torcidos.

Golpes de correas.

Juegos excesivos.

Excentricidad.

Deterioro de correas y cadenas.

Deterioro de rodamientos.

Engranajes.

Lubricación.

Roces.

Fuerzas hidráulicas.

Fuerzas aerodinámicas.

Problemas eléctricos.

Problemas relacionados a la estructura de soporte de las unidades.

Resonancias estructurales.

Soltura de partes fijas.

Tuberías forzadas.

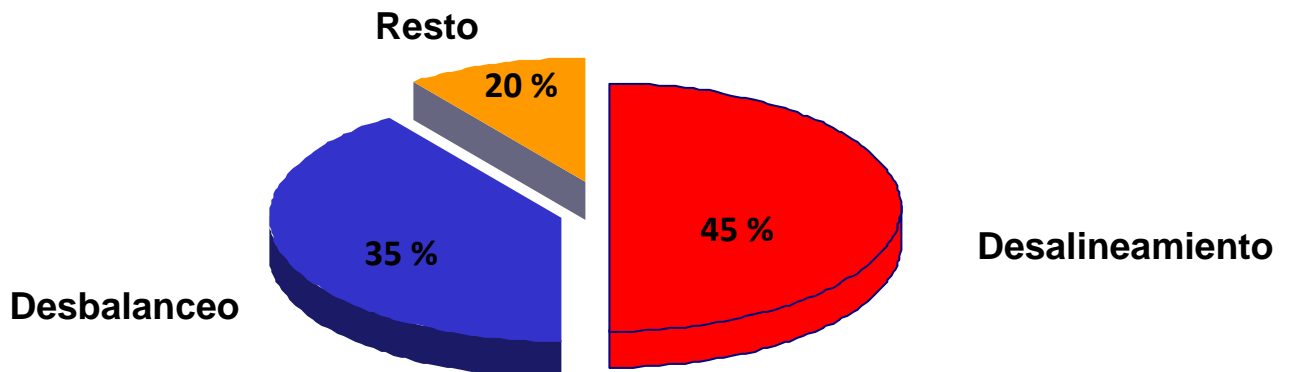
Deterioro de soportes.

Distorsión térmica.

Desajustes de carcasas.

Las fuentes más comunes de inducción de cargas dinámicas sobre los equipos industriales son:

Figura 5. Fuentes más comunes de vibración en equipos industriales



Los problemas más comunes en la industria que abarcan entre un 80 % y un 90 % de las cargas dinámicas que generan vibraciones, son el desbalanceo y desalineamiento.

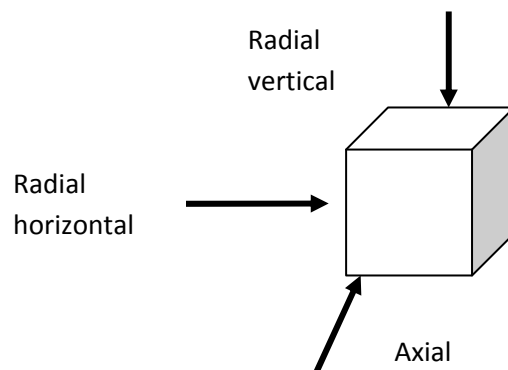
- Direcciones de medición más comunes sobre el apoyo:

Radial. Registro tomado en dirección perpendicular al eje de transmisión. Puede presentarse en dirección horizontal o vertical aunque en equipos instalados en dirección vertical se recomienda un desfase de 90° entre uno y otro registro.

Axial. Cuando el registro se toma en la dirección paralela al eje de transmisión.

Todos estos registros se deben hacer sobre la superficie más cercana que tenga contacto con los elementos de apoyo de la máquina, ya sean rodamientos o cojinetes.

Figura 6. Direcciones de mediciones comunes de vibraciones mecánicas



4.3.5 Vibración en máquinas reciprocantes.

La técnica de análisis de vibraciones es aplicada a bombas reciprocantes, compresores, motores diesel y a gasolina. El análisis de vibraciones en maquinaria reciprocante es muy efectivo para el diagnóstico de problemas como desbalanceo, desalineamiento, soldaduras mecánicas, etc. Sin embargo las máquinas reciprocantes tienen inherentemente vibraciones que son resultado de la inercia de los componentes reciprocantes más la variación de las presiones dentro de los pistones que causan variaciones en el torque. Las vibraciones resultantes de estas fuerzas “reciprocantes” inherentes a menudo tienen características de frecuencias similares a aquellas asociadas con problemas mecánicos comunes. Las frecuencias de vibración normalmente encontradas son la 1X y 2X RPM; sin embargo frecuencias de orden más alto son también comunes en algunos diseños dependiendo del número de pistones y la relación entre ellos.

Por ejemplo un motor de 6 cilindros y cuatro ciclos tendrá tres pulsos de potencia para cada revolución del cigüeñal y causará una vibración a una frecuencia de 3X RPM. Por otra parte un motor de ocho cilindros y cuatro ciclos por revolución, mostrará una vibración a una frecuencia de 4X RPM.

Otras frecuencias a varias veces las RPM del cigüeñal son también comunes en unidades reciprocantes. Se puede analizar también que existen vibraciones de $\frac{1}{2}$ RPM. Además se presentan armónicos $1 \frac{1}{2}$, $2 \frac{1}{2}$, $3 \frac{1}{2}$, etc.

- Deterioro de los cojinetes de la biela

La soldadura o excesivo deterioro de los cojinetes de la biela se caracterizan por un notable aumento del ruido y desaceleración especialmente durante la desaceleración de la máquina. La frecuencia predominante en caso de soldadura o

deterioro excesivo de los cojinetes es de la biela es la 2X de la velocidad del cigüeñal.

- Deterioro de los cojinetes principales del cigüeñal

El deterioro de los cojinetes principales del cigüeñal genera aumento de vibraciones y ruido especialmente durante la aceleración y desaceleración de la maquina, ya que la carga sobre los cojinetes en estas condiciones será mayor. Cuando el deterioro de los cojinetes es excesivo, el ruido y la vibración se sienten en todas las condiciones.

La frecuencia predominante asociada con el juego excesivo en los cojinetes principales a menudo será igual a un múltiplo de la frecuencia del pulso de potencia. Así en un motor de tres cilindros la vibración puede ocurrir a una frecuencia de 3X RPM, resultando tres pulsos por revolución del cigüeñal. Además los múltiplos de esta frecuencia 6X, 9X o 12X RPM, también pueden mostrar un aumento significativo.

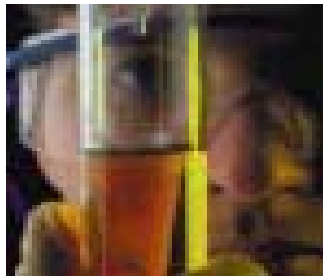
- Golpe de pistón

El golpe de pistón causado por excesivo juego de pistón cilindro, tendrá características de vibración similares a la causada por excesivo juego de los cojinetes de la biela, excepto que la vibración por golpeteo de pistón será predominante bajo carga pesada o condiciones de aceleración, cuando las presiones actuantes en el pistón serán las mayores. Este problema también se caracteriza por un notable ruido de golpeteo metálico proveniente de la máquina. Típicamente el golpe de pistón produce una vibración con una frecuencia predominante de 2X RPM aunque es posible un aumento de la vibración a $\frac{1}{2}$ X y 1X RPM.

4.4 ANALISIS DE ACEITES.

Nos permite hacer un seguimiento de la condición de los elementos internos que sufren desgaste, en tiempo relativamente corto, a través de estudios ferrográficos que nos muestran la presencia de contaminantes, su fuente y la posible causa.

Figura 7. Análisis de aceite



Cuadro 4. Análisis de aceite

Viscosidad	Mayor viscosidad mayor deterioro del aceite
Índice de viscosidad	Determina rango permitido de temperaturas
Numero de neutralización	Mide calidad de aceite usado mediante comparación con aceite nuevo
Punto de inflamación y Punto de fuego	Estima temperaturas de vaporización e incendio
Contaminación y sedimento	Establece necesidad de cambios de filtros de aire y aceite
Tensión interfacial	Mide con mayor sensibilidad la oxidación del aceite
Resistencia dieléctrica	Determina contaminación por pequeñas cantidades de agua y otras materias

4.5 ULTRASONIDO ACÚSTICO

Permite detectar problemas de flujos, fugas o goteos de sistemas de transporte de cualquier fluido o energía.

Ventaja

Permite el diagnóstico de problemas durante la operación de los equipos a un bajo costo

Desventaja

Otros parámetros de medición suministran igual o mayor información

Figura 8. Ultrasonido



4.6 ULTRASONIDO DE E.N.D.

Permite detectar problemas de grietas y discontinuidad de material, soldaduras o estructuras. Nos da indicaciones de elongaciones

Ventaja

Permite el diagnóstico de problemas internos a los cuales ningún equipo tiene acceso, evitando daños catastróficos.

Desventaja

Este procedimiento solo se puede ejecutar con los equipos en total reposo y con acceso a los elementos importantes internos.

Otros parámetros a tener en cuenta son:

Tintas penetrantes

Partículas magnéticas.

Rayos X y Gamma

Dureza³

³ Alfonso García. Manual de postgrado UIS de gerencia de mantenimiento.

5. LA PROPUESTA

5.1 EVALUACIÓN DE MANTENIMIENTO.

5.1.1 Introducción.

El Diagnóstico De La Organización De Mantenimiento, es el primer paso dentro de cualquier plan de mejora en una organización de mantenimiento (en este caso para el buen diseño de un plan de mantenimiento predictivo). Este permitirá identificar sus fortalezas y debilidades, dentro del esquema productivo e interacción con el cliente interno y externo.

La Matriz de Excelencia del Mantenimiento, es una de las herramientas más utilizadas a nivel mundial y muestra de manera gráfica y cuantitativa el estado de las organizaciones de mantenimiento y en diferentes aspectos evaluados, así como su interacción con el proceso operaciones.

5.1.2 Objetivos de la Evaluación de Mantenimiento.

- Diagnosticar el estado de la organización de mantenimiento.
- Determinar las debilidades y las fortalezas de la organización de mantenimiento.
- Crear planes de mejoramiento basados en los resultados de la evaluación.

5.1.3 Evaluación de Mantenimiento.

Procesos Evaluados:

- Estrategia de Mantenimiento

- Administración y Organización
- Planeación y Programación
- Técnicas de Mantenimiento
- Indicadores de Desempeño
- Tecnología de Información y su uso
- Involucramiento de los Empleados
- Análisis de Confiabilidad
- Análisis de Procesos
- Información sobre Infraestructura y Equipos.

Cuadro 5. Evaluación cuantitativa de la matriz de la excelencia de mantenimiento

Niveles de Clasificación	
Entre 0 y 10	Mantenimiento "INOCENTE"
Entre 10 y 20	Mantenimiento "INSATISFACTORIO"
Entre 20 y 60	Mantenimiento "CONSCIENTE"
Entre 60 y 80	Mantenimiento "DE LO MEJOR EN SU CLASE"
Entre 80 y 100	Mantenimiento "CLASE MUNDIAL"

Puntaje Autoevaluación
1.00 = Efectivamente implementado en todas las operaciones
0.75 = Efectivamente implementado en la mayoría de las operaciones
0.50 = Efectivamente implementado en alguna de las operaciones
0.25 = Efectivamente implementado en solo una operación (prototipo)
0.00 = No implementado

5.1.4 Resultados de la evaluación.

Estrategia corporativa

Cuadro 6. Resultados evaluación de estrategia corporativa.

1	ESTRATEGIA CORPORATIVA	Puntaje Máximo	Evaluable (X)	Puntaje Autoevaluación	Puntaje Ponderado Autoevaluación
1.1	Estrategia Corporativa de Gestión de Activos	4	X	-	0,00
1.2	Plan de Mejoramiento a largo plazo	3	X	-	0,00
1.3	Plan estratégico de mejoramiento a un año	2	X	-	0,00
1.4	Plan de mejoramiento de mantenimientos preventivos	1	X	1,00	1,00
1.5	Mantenimiento reactivo (run to fail)	0	X	1,00	0,00
	Sub - Total	10			1,00

Administración y organización

Cuadro 7. Resultados evaluación de administración y organización.

2	ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN	Puntaje Máximo	Evaluable (X)	Puntaje Autoevaluación	Puntaje Ponderado Autoevaluación
2.1	"Organización de Alto Desempeño"	4	X	-	0,00
2.2	Administración y organización de mantenimiento "Ampliada" (integrada) con proveedores de bienes y servicios externos	3	X	-	0,00
2.3	Estructura organizacional de mantenimiento integrada con logística, financiera, recursos humanos, gerencia y demás áreas de la compañía.	2	X	-	0,00
2.4	Mantenimiento organizado como respuesta a la necesidad operativa del proceso productivo principal	1	X	1,00	1,00
2.5	Organización y administración funcional	0	X	1,00	0,00
	Sub- Total	10			1,00

Planeación y programación

Cuadro 8. Resultados evaluación planeación y programación.

3	PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	Puntaje Máximo	Evaluable (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
3.1	Ingeniería de Mantenimiento y Planeación de Largo Plazo (Vista a tres años mínimo)	4	X	-	0,00
3.2	Buena planeación del trabajo, programación y soporte de Ingeniería de mantenimiento implementado (Preventivos con base en RCM, Análisis de Falla, Soporte Técnico)	3	X	-	0,00
3.3	Grupos de planeación e ingeniería de mantenimiento establecidos formalmente	2	X	-	0,00
3.4	Soporte para detección de fallas y programación elemental (no balanceo, planeación no profunda)	1	X	1,00	1,00
3.5	No planeación. La programación es elemental y no existe la Ingeniería de mantenimiento	0	X	1,00	0,00
	Sub - total	10			1,00

Técnicas de mantenimiento

Cuadro 9. Resultados evaluación técnicas de mantenimiento.

4	TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO	Puntaje Máximo	Evaluable (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
4.1	Todas las tácticas derivadas de un análisis estructurado	4	X	-	0,00
4.2	CBM formal y dando resultados. PPMs con base en RCM/PMO. Inspecciones basadas en riesgo	3	X	-	0,00
4.3	Algo de CBM. Algo de NDT y RBI	2	X	0,25	0,50
4.4	Inspecciones basadas en tiempo	1	X	1,00	1,00
4.5	Paradas anuales de inspección únicamente	0	X	1,00	0,00
	Sub-total	10			1,50

Medidas de desempeño

Cuadro 10. Resultados evaluación Medidas de desempeño

5	MEDIDAS DE DESEMPEÑO	Puntaje Máximo	Evaluable (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
5.1	Cálculo de efectividad de equipos y de planta, Benchmarking y excelente base de datos de costos implementada	4	X	-	0,00
5.2	MTBF/MTTR, disponibilidad, confiabilidad, costos de mantenimiento muy estructurados y gestionados	3	X	-	0,00
5.3	Tiempos de parada con modo, causa y elementos de falla. Costos de mantenimiento disponibles	2	X	-	0,00
5.4	Algunos registros de falla y costos de mantenimiento no segregados	1	X	1,00	1,00
5.5	Ninguna aproximación sistemática a costos de mantenimiento y falla de equipos	0	X	1,00	0,00
	Sub-total	10			1,00

Tecnología de la información y su uso

Cuadro 11. Resultados evaluación Tecnología de información y su uso.

6	TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	Puntaje Máximo	Evaluable (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
6.1	Bases de datos totalmente integradas	4	X	-	0,00
6.2	CMMS - ERP Convencional ligado a financiero y materiales	3	X	-	0,00
6.3	CMMS - ERP convencional no ligado a otros paquetes, operando y produciendo resultados	2	X	-	0,00
6.4	Algunos programas y registros de repuestos	1	X	1,00	1,00
6.5	Manual y registro ad hoc	0	X	1,00	0,00
	Sub-total	10			1,00

Involucramiento de los empleados

Cuadro 12. Resultados evaluación Involucramiento de los empleados.

7	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	Puntaje Máximo	Evaluated (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
7.1	Equipos de trabajo autónomos	4	X	-	0,00
7.2	Equipos de mejoramiento continuo formalmente creados y funcionando	3	X	-	0,00
7.3	Comités de mejoramiento ad hoc	2	X	-	0,00
7.4	Algunas reuniones de mejoramiento en seguridad	1	X	1,00	1,00
7.5	Solo reuniones con el personal para tocar temas laborales o sociales	0	X	1,00	0,00
	Sub-total	10			1,00

Análisis de confiabilidad

Cuadro 12. Resultados evaluación análisis de confiabilidad

8	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	Puntaje Máximo	Evaluated (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
8.1	Programa total de confiabilidad (Predicción y Ajuste de Estrategia de Mantenimiento con base en estudios Confiabilidad)	4	X	-	0,00
8.2	Modelamiento de Confiabilidad	3	X	-	0,00
8.3	Buena base de datos de falla, en uso y utilización de RCFA y PFMEA	2	X	-	0,00
8.4	Registro de Fallas poco usado	1	X	1,00	1,00
8.5	No existe registro estructurados de fallas	0	X	1,00	0,00
	Sub-total	10			1,00

Análisis de procesos

Cuadro 13. Resultados evaluación análisis de procesos

9	ANÁLISIS DE PROCESOS	Puntaje Máximo	Evaluated (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
9.1	Revisión regular de los procesos de costo, tiempo y calidad. (Tipo certificación ISO 9000 de los procesos de mantenimiento)	4	X	-	0,00
9.2	Algunas revisiones de procesos administrativos de mantenimiento (estratégicos, tácticos y operativos)	3	X	-	0,00
9.3	Revisiones periódicas de procesos o procedimientos técnicos y documentación de los procesos administrativos	2	X	1,00	2,00
9.4	Procesos técnicos (procedimientos), revisados por lo menos una vez	1	X	1,00	1,00
9.5	Procedimientos técnicos y Procesos administrativos de mantenimiento no documentados y nunca revisados (verbales o de conocimiento individual)	0	X	1,00	0,00
	Sub-total	10			3,00

Información sobre infraestructura e instalaciones

Cuadro 14. Resultados evaluación información sobre infraestructura e instalaciones

10	INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES	Puntaje Máximo	Evaluable (X)	Puntaje Evaluación	Puntaje Ponderado Evaluación
10.1	Existe una única fuente de información que contiene toda la infraestructura de equipos, componentes y las diferentes jeraquias necesarias para realizar la gestión de mantenimiento (Si existen varias fuentes, están debidamente comunicadas via interfaces)	4	X	1,00	4,00
10.2	La infraestructura de equipos y componentes está debidamente estandarizada en las diferentes bases de datos con ayuda de las cuales se realiza la gestión de mantenimiento	3	X	1,00	3,00
10.3	Infraestructura jeraquizada y clasificada de manera que permita realizar gestión administrativa y técnica	2	X	1,00	2,00
10.4	Se dispone de la infraestructura de Equipos y componentes debidamente estructurada en algún medio magnético	1	X	1,00	1,00
10.5	No existe ningún registro de la infraestructura de Equipos y Componentes	0	X	1,00	0,00
	Sub-total	10			10,00

Resultados evaluación

Cuadro 15. Resultados evaluación de organización de mantenimiento

TOTAL	100			21,50
AUTOEVALUACIÓN				
DIAGNÓSTICO DE LA EVALUACIÓN A LA ORGANIZACIÓN DE MANTENIMIENTO		MANTENIMIENTO CONSCIENTE		

La organización de mantenimiento se encuentra dentro de un nivel inocente de acuerdo a la evaluación realizada tomando como base la Matriz de La Excelencia de Mantenimiento.

En el área de técnicas de mantenimiento que es la que le compete al programa de mantenimiento predictivo, la organización de mantenimiento se encuentra dentro de un nivel Inocente por que se realizan inspecciones basadas en tiempo.

Figura 9. Matriz de la excelencia de mantenimiento

CLASE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN	PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	TECNICAS DE MANTENIMIENTO	MEDIDAS DE DESEMPÑO	TECNOLOGIA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	ANALISIS DE CONFIABILIDAD	ANALISIS DE PROCESOS	INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES
CLASE MUNDIAL	Estrategia Corporativa de mantenimiento	Organización de Alto Desempeño	Ingeniería de Mantenimiento y Planeación de Largo Plazo (mín. 3 años a futuro)	Todas las técnicas derivadas de un análisis estructurado	Efectividad de Eventos, Rendimiento y Accidents basados en datos de Carter	Bases de datos totalmente integradas	Equipos de trabajo autónomos	Programa total de confiabilidad, Predicción y ajuste de actividades con base en estudios de confiabilidad	Revisión regular de las pruebas de Carter, tiempo y calidad. Certificación ISO 9000 de las pruebas de mantenimiento.	Fuente única de información de infraestructura de equipos, componentes y las diferentes operaciones
DE LO MEJOR EN SU CLASE	Plan de mejoramiento a largo plazo	Organización de mantenimiento integrada con proveedores de bienes y servicios	Buena planeación y programación del trabajo. Soporte de Ingeniería de Mantenimiento	CBM formal y dada resultados. PPM con base en RCM. Inspecciones basadas en riesgo.	MTBF/MTTR. Disponibilidad. Carter de mantenimiento muy estructurado y ordenado.	CMMS Convencional. Ligeo o financiero y material.	Equipos de mejoramiento continuo formalmente creados y funcionando	Modelamiento de Confiabilidad	Algunas revisiones de procesos administrativos de mantenimiento (estrategia, táctica y operativa)	Infraestructura de equipos y componentes actualizada con las diferentes bases de datos
CONCIENTE	Plan estratégico de mantenimiento a un año	Mantenimiento integrado con las demás áreas de la compañía	Grupo de Planeación e Ingeniería de Mantenimiento establecido	Algo de CBM, Algo de NDT	Tiempo de parada con media, causa y elemento de falla. Carter de mantenimiento disponible	CMMS Convencional no ligero o estructurado	Comité de mejoramiento ad-hoc	Buena base de datos de fallas en un RCM y FMEA	Revisión periódica de procesos administrativos técnicos por disciplinas	Infraestructura de equipos requerida y clasificada
INSATISFACTORIO	Plan de mejoramiento de mantenimiento preventivo	Mantenimiento integrado a operación	Soporte para detección de fallas y programación	Inspecciones basadas en tiempo	Algunos registros de fallas; Carter de mantenimiento no se queda	Algunos programas y registros de reportar	Algunas revisiones de mejoramiento en requerido	Requisito de fallas poco usado	Procesos técnicos de mantenimiento requeridos para manejar un año al año	Infraestructura de equipos y componentes actualizados con algún nivel de aplicación
INOCENTE	Mantenimiento reactivo	Organización y administración funcional	Na planeación. Programación elemental. No existe Ingeniería de mantenimiento	Paradas anuales de inspección únicamente	Ninguna apreciación sistemática o Carter de mantenimiento y fallas de equipos	Manual y registros ad-hoc	Se requiere con el personal para tener bases estadísticas o rastrear	No existe registros estructurados de fallas	Procesos técnicos y administrativos de mantenimiento no documentados y nunca revisados	No existe ningún registro de infraestructura de equipos y componentes

5.2 DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

5.2.1 Baja confiabilidad operacional.

- No hay un programa de CBM (Condition Based Maintenance), formal y dando resultados.
- Se realizan inspecciones basadas en tiempo.
- Registro de fallas deficiente.
- No hay cálculo de tiempo medio entre paros y de tiempo medio de reparación.
- No hay cálculos de confiabilidad y mantenibilidad.
- No hay equipos de mejoramiento continuo formalmente creados y funcionando.
- No hay una buena base de datos de falla.
- No se utiliza RCA (Root Cause Analyst).
- No se utiliza FMEA (Fault model Effet Analys).

- Procedimientos técnicos y procesos administrativos de mantenimiento no documentados.
- No se dispone de una infraestructura jerarquizada y clasificada de manera que permita realizar gestión administrativa y técnica.

5.2.2 Planeación deficiente.

- No existe estudio de criticidad de los equipos de barco.
- No hay procedimiento de priorización de los trabajos.
- Aplicación deficiente de tecnologías para anticipar fallas.
- No hay un CMMS.

5.2.3 Gestión deficiente de repuestos y almacén.

- No hay listado de repuestos críticos.
- No hay un CMMS que integre mantenimiento, compras y almacén.

5.2.4 Fortalezas

La mayor fortaleza de la organización de mantenimiento esta en que cuenta con personal bien calificado y de experiencia. Además se cuenta con un plan de mantenimiento preventivo con cambios basados en tiempo.

5.2.5 Debilidades

En cuanto al tema de mantenimiento predictivo que ocupa este trabajo, la organización actualmente no tiene ningún plan de mantenimiento predictivo. Solamente se realizan análisis de aceite y no como mantenimiento predictivo sino como monitoreo de la condición.

5.2.6 Acciones de mejora.

Para mejorar la condición de la organización de mantenimiento se recomiendan los siguientes pasos:

- Estudio de criticidad.
- Determinación de los modos de falla de los equipos críticos (RCM).
- Creación de tareas predictivas para controlar los modos de falla.
- Plan de implementación de las tareas predictivas.

5.3 ANALISIS DE CRITICIDAD Y DETERMINACION DE LOS MODOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS CRITICOS

5.3.1 Recolección de documentación técnica.

Antes de iniciar el análisis de criticidad se recolecto la siguiente información técnica:

Descripción técnica de los sistemas que contiene el barco:

- Descripción de los sistemas.
- Los requisitos de capacidad.
- Condiciones de funcionamiento
- Descripción de los equipos

Planos técnicos o diagramas de proceso de datos que contiene, materiales y medios de comunicación códigos:

- P & ID (procesos de instrumentación y diagramas).
- Diagramas de flujo.
- Una línea de diagramas (cables eléctricos y equipo).
- Lógica de apagado.
- F & G (fuego y gas) diagramas de causa efecto.
- Protección contra incendios, hojas de datos.

Se definieron los límites de los sistemas y subsistemas.

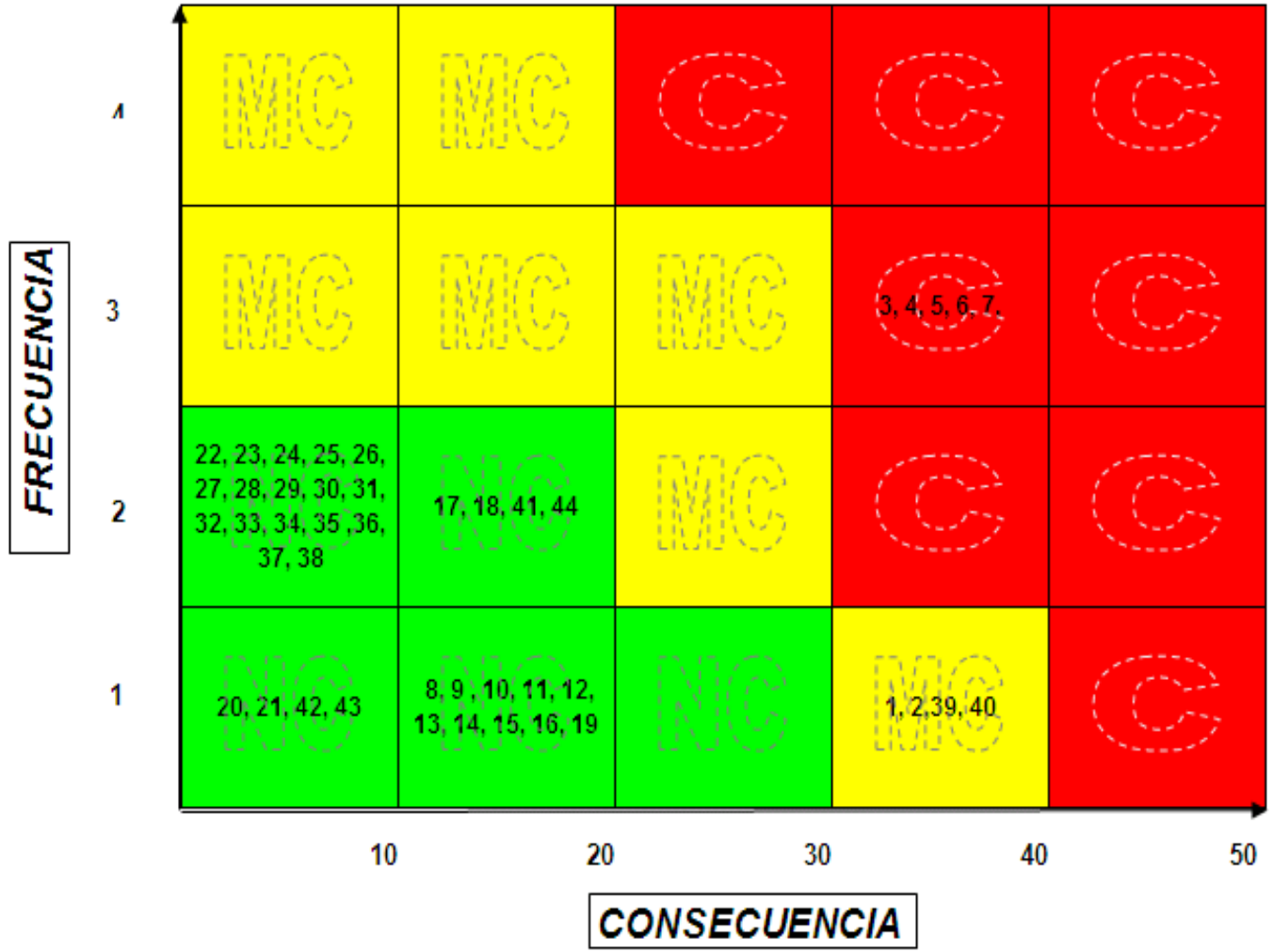
5.3.2 ANALISIS DE CRITICIDAD

FACTORES PONDERADOS TOTALIDAD DE EQUIPOS								
ITE	EQUIPO	FRECUENCIA FALLAS	IMPACTO OPERACION	FLEXIBILIDAD OPERACION	COSTOS D. HABTE	IMPACTO F. SBA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL
1	MOTOR PINCIPAL EMD	1	7	4	2	8	38	38
2	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	1	7	4	2	8	38	38
3	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
4	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
5	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
6	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
7	MOTOR DE LA PANGA CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
8	GENERADOR AUXILIAR ER	1	7	2	2	3	19	19
9	GENERADOR AUXILIAR BR	1	7	2	2	3	19	19
10	GENERADOR AUXILIAR CNTR	1	7	2	2	3	19	19
11	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 1	1	4	2	2	8	18	18
12	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 2	1	4	2	2	8	18	18
13	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 3	1	4	2	2	8	18	18
14	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 4	1	4	2	2	8	18	18
15	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 5	1	4	2	2	8	18	18
16	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 6	1	4	2	2	8	18	18
17	BOMBA DE ENFRIAMIENTO CABEZOTES VILTER PPAL	2	7	2	1	3	18	36
18	BOMBA DE ENFRIAMIENTO CABEZOTES VILTER AUX	2	7	2	1	3	18	36
19	BOMBA DEL SISTEMA HIDRAULICO	1	4	2	1	3	12	12
20	BOMBA DEL TIMON LADO ER	1	4	2	1	1	10	10
21	BOMBA DEL TIMON LADO BR	1	4	2	1	1	10	10
22	BOMBA DE TRANSFERENCIA BR	2	1	2	1	1	4	8
23	BOMBA DE TRANSFERENCIA ER	2	1	2	1	1	4	8
24	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 1	2	1	2	1	1	4	8
25	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 2 BR	2	1	2	1	1	4	8
26	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 2 ER	2	1	2	1	1	4	8
27	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 3 BR	2	1	2	1	1	4	8
28	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 3 ER	2	1	2	1	1	4	8
29	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 4 BR	2	1	2	1	1	4	8
30	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 4 ER	2	1	2	1	1	4	8
31	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 5 BR	2	1	2	1	1	4	8
32	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 5 ER	2	1	2	1	1	4	8
33	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 6 BR	2	1	2	1	1	4	8
34	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 6 ER	2	1	2	1	1	4	8
35	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 7 BR	2	1	2	1	1	4	8
36	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 7 ER	2	1	2	1	1	4	8
37	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 8 BR	2	1	2	1	1	4	8
38	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 8 ER	2	1	2	1	1	4	8
39	MACACO	1	7	4	2	3	33	33
40	WINCHE PRINCIPAL	2	7	4	2	8	38	76
41	WINCHE AUXILIAR DE CUBIERTA	2	1	2	1	3	6	12
42	WINCHE DE POPA	1	1	2	1	3	6	6
43	WINCHE DE PROA	1	1	2	1	3	6	6
44	WINCHE DEL ANCLA	2	4	2	1	3	12	24

		FACTORES PONDERADOS TOTALIDAD DE EQUIPOS						
IT#	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO OPERACION	FLEXIBILIDAD OPERACION	COSTOS DE MANTO	IMPACTO EN SHA	CONSECUENCIA	CRITICIDAD TOTAL
1	MOTOR PINCIPAL EMD	1	7	4	2	8	38	38
2	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	1	7	4	2	8	38	38
3	MOTOR AUXILIAR CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
4	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
5	MOTOR DE LA PANGA CAT SERIE 34	3	4	2	2	3	13	39
6	GENERADOR AUXILIAR	1	7	2	2	3	19	19
7	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER	1	4	2	2	8	18	18
8	BOMBA DE ENFRIAMIENTO CABEZOTES VILTER	2	7	2	1	3	18	36
9	BOMBA DEL SISTEMA HIDRAULICO	1	4	2	1	3	12	12
10	BOMBA DEL TIMON LADO	1	4	2	1	1	10	10
11	BOMBA DE TRANSFERENCIA	2	1	2	1	1	4	8
12	BOMBA DE RECIRCULACION CUBAS	2	1	2	1	1	4	8
13	MACACO	1	7	4	2	3	33	33
14	WINCHE PRINCIPAL	1	7	4	2	8	38	38
15	WINCHE AUXILIAR DE CUBIERTA	2	1	2	1	3	6	12
16	WINCHE DE POPA	1	1	2	1	3	6	6
17	WINCHE DE PROA	1	1	2	1	3	6	6
18	WINCHE DEL ANCLA	2	4	2	1	3	12	24

FACTORES PONDERADOS TOTALIDAD DE EQUIPOS

ITE	EQUIPO	FRECUENCIA DE FALLA	CONSECUENCIA
1	MOTOR PINCIPAL EMD	1	38
2	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	1	38
3	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	3	39
4	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	3	39
5	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	3	39
6	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	3	39
7	MOTOR DE LA PANGA CAT SERIE 34	3	39
8	GENERADOR AUXILIAR ER	1	19
9	GENERADOR AUXILIAR BR	1	19
10	GENERADOR AUXILIAR CNTR	1	19
11	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 1	1	18
12	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 2	1	18
13	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 3	1	18
14	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 4	1	18
15	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 5	1	18
16	COMPRESOR DE AMONIACO VILTER 6	1	18
17	BOMBA DE ENFRIAMIENTO CABEZOTES VILTER	2	18
18	BOMBA DE ENFRIAMIENTO CABEZOTES VILTER	2	18
19	BOMBA DEL SISTEMA HIDRAULICO	1	12
20	BOMBA DEL TIMON LADO ER	1	10
21	BOMBA DEL TIMON LADO BR	1	10
22	BOMBA DE TRANSFERENCIA BR	2	4
23	BOMBA DE TRANSFERENCIA ER	2	4
24	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 1	2	4
25	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 2 BR	2	4
26	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 2 ER	2	4
27	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 3 BR	2	4
28	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 3 ER	2	4
29	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 4 BR	2	4
30	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 4 ER	2	4
31	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 5 BR	2	4
32	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 5 ER	2	4
33	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 6 BR	2	4
34	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 6 ER	2	4
35	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 7 BR	2	4
36	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 7 ER	2	4
37	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 8 BR	2	4
38	BOMBA DE RECIRCULACION CUBA 8 ER	2	4
39	MACACO	1	33
40	WINCHE PRINCIPAL	1	38
41	WINCHE AUXILIAR DE CUBIERTA	2	12
42	WINCHE DE POPA	1	6
43	WINCHE DE PROA	1	6
44	WINCHE DEL ANCLA	2	12



5.3.3 DETERMINACION DE LOS MODOS DE FALLA DE LOS EQUIPOS CRITICOS

Motor auxiliar BR

Función Primaria Motor auxiliar BR Caterpillar serie 34	
0	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

Funciones Secundarias	
1	
2	
3	
4	

Fallas Funcionales Motor auxiliar BR caterpillar serie 34	
Función	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
0 . A	APAGADO POR BAJO NIVEL DE ACEITE
0 . B	APAGADO POR BAJO NIVEL DE AGUA
0 . C	ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN
0 . D	APAGADO POR BAJA PRESION DE ACEITE
0 . E	APAGADO POR BAJA PRESION DE COMBUSTIBLE
0 . F	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DE ACEITE
0 . G	BAJAS REVOLUCIONES DEL MOTOR
0 . H	PERDIDA DE POTENCIA POR BAJA COMPRESIÓN EN LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN
0 . I	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR

Modos de Falla Motor auxiliar BR caterpillar serie 34

0 - A - 1	FUGA EN SELLO DE BOMBA DE ACEITE
0 - A - 2	FUGA EN GUIAS DE LAS VALVULAS
0 - A - 3	DESGASTE EN ANILLOS
0 - A - 4	DESGASTE EXCESIVO EN CILINDROS
0 - A - 5	FRACTURA DE ANILLOS
0 - A - 6	FUGA DE ACEITE POR EMPAQUE DEL CARTER
0 - A - 7	INSUFICIENTE DOSIFICACION
0 - B - 1	FUGA POR SELLO DE LA BOMBA DE AGUA
0 - B - 2	EVAPORACION POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR
0 - B - 3	FUGA POR SELLOS DE LA CULATA
0 - B - 4	FRACTURA DEL BLOQUE DEL MOTOR
0 - B - 5	FISURA DEL TANQUE DE EXPANSIÓN
0 - C - 1	DESALINEACION ENTRE MOTOR Y GENERADOR
0 - C - 2	DESGASTE DE PARTES INTERNAS
0 - C - 3	DESGASTE DE LOS SOPORTES ANTIVIBRACION DE LA BASE DEL MOTOR
0 - D - 1	FALLA DE LA BOMBA DE ACEITE
0 - D - 2	CONDUCTOS DE ACEITE OBSTRUIDOS
0 - D - 3	ACEITE EMULSIONADO
0 - E - 1	FALLA FUNCIONAL DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE
0 - E - 2	BAJO NIVEL DE COMBUSTIBLE O AUSENCIA DEL MISMO
0 - E - 3	FUGA EN LAS TUBERIAS DE COMBUSTIBLE DEL SISTEMA DE INYECCION
0 - F - 1	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - F - 2	ACEITE CON VISCOSIDAD INADECUADA
0 - F - 3	FALLA EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL ACEITE
0 - G - 1	REGULACION INADECUADA DEL GOVERNOR
0 - G - 2	BAJA COMPRESION EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN
0 - H - 1	DESGASTE EN LOS ANILLOS
0 - H - 2	DESGASTE POR PRESENCIA DE SILICE
0 - H - 3	VISCOSIDAD INADECUADA DEL ACEITE
0 - H - 4	DESGASTE EXCESIVO EN LOS ASCIENTOS DE LAS VALVULAS
0 - H - 5	DESGASTE EXCESIVO EN LAS GUIAS DE LAS VÁLVULAS
0 - H - 6	DESGASTE EXCESIVO EN EL VÁSTAGO DE LAS VÁLVULAS.
0 - I - 1	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL CARTER
0 - I - 2	PRESENCIA DE AIRE EN LA BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION
0 - I - 3	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - I - 4	BAJO NIVEL DE AGUA DEL MOTOR
0 - I - 5	BAJO NIVEL DE ACEITE DEL MOTOR

Motor auxiliar BR caterpillar serie 34

Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	HA REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3						
							N1	N2	N3						
0	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	2	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	3	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	4	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	5	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	6	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	7	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	3	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	4	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	5	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	C	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	3	S	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	D	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	E	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	3	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	F	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	F	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	F	3	N	S	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINAS DE MEDICION DE TEMPERATURAS	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	4	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	5	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	6	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	I	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	I	4	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	5	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA

Motor auxiliar ER

Función Primaria Motor auxiliar ER Caterpillar serie 34	
0	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
Funciones Secundarias	
1	
2	
3	
4	

Fallas Funcionales Motor auxiliar ER caterpillar serie 34	
Función	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
0.A	APAGADO POR BAJO NIVEL DE ACEITE
0.B	APAGADO POR BAJO NIVEL DE AGUA
0.C	ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN
0.D	APAGADO POR BAJA PRESION DE ACEITE
0.E	APAGADO POR BAJA PRESION DE COMBUSTIBLE
0.F	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DE ACEITE
0.G	BAJAS REVOLUCIONES DEL MOTOR
0.H	PERDIDA DE POTENCIA POR BAJA COMPRESIÓN EN LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN
0.I	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR

Modos de Falla Motor auxiliar ER caterpillar serie 34

0 - A - 1	FUGA EN SELLO DE BOMBA DE ACEITE
0 - A - 2	FUGA EN GUIAS DE LAS VALVULAS
0 - A - 3	DESGASTE EN ANILLOS
0 - A - 4	DESGASTE EXCESIVO EN CILINDROS
0 - A - 5	FRACTURA DE ANILLOS
0 - A - 6	FUGA DE ACEITE POR EMPAQUE DEL CARTER
0 - A - 7	INSUFICIENTE DOSIFICACION
0 - B - 1	FUGA POR SELLO DE LA BOMBA DE AGUA
0 - B - 2	EVAPORACION POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR
0 - B - 3	FUGA POR SELLOS DE LA CULATA
0 - B - 4	FRACTURA DEL BLOQUE DEL MOTOR
0 - B - 5	FISURA DEL TANQUE DE EXPANSIÓN
0 - C - 1	DESALINEACION ENTRE MOTOR Y GENERADOR
0 - C - 2	DESGASTE DE PARTES INTERNAS
0 - C - 3	DESGASTE DE LOS SOPORTES ANTIVIBRACION DE LA BASE DEL MOTOR
0 - D - 1	FALLA DE LA BOMBA DE ACEITE
0 - D - 2	CONDUCTOS DE ACEITE OBSTRUIDOS
0 - D - 3	ACEITE EMULSIONADO
0 - E - 1	FALLA FUNCIONAL DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE
0 - E - 2	BAJO NIVEL DE COMBUSTIBLE O AUSENCIA DEL MISMO
0 - E - 3	FUGA EN LAS TUBERIAS DE COMBUSTIBLE DEL SISTEMA DE INYECCION
0 - F - 1	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - F - 2	ACEITE CON VISCOSIDAD INADECUADA
0 - F - 3	FALLA EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL ACEITE
0 - G - 1	REGULACION INADECUADA DEL GOVERNOR
0 - G - 2	BAJA COMPRESION EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN
0 - H - 1	DESGASTE EN LOS ANILLOS
0 - H - 2	DESGASTE POR PRESENCIA DE SILICE
0 - H - 3	VISCOSIDAD INADECUADA DEL ACEITE
0 - H - 4	DESGASTE EXCESIVO EN LOS ASCIENTOS DE LAS VALVULAS
0 - H - 5	DESGASTE EXCESIVO EN LAS GUIAS DE LAS VÁLVULAS
0 - H - 6	DESGASTE EXCESIVO EN EL VÁSTAGO DE LAS VÁLVULAS.
0 - I - 1	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL CARTER
0 - I - 2	PRESENCIA DE AIRE EN LA BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION
0 - I - 3	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - I - 4	BAJO NIVEL DE AGUA DEL MOTOR
0 - I - 5	BAJO NIVEL DE ACEITE DEL MOTOR

Motor auxiliar ER caterpillar serie 34

Motor auxiliar ER caterpillar serie 34															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	HA REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3	N1	N2	N3			
0	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	2	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	3	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	4	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	5	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	6	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	7	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	3	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	4	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	5	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	C	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	3	S	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	D	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	E	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	3	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	F	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	F	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	F	3	N	S	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINAS DE MEDICION DE TEMPERATUR	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	4	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	5	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	6	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	I	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	I	4	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	5	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA

Motor auxiliar CNTR

Función Primaria Motor auxiliar CNTR Caterpillar serie 34	
0	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA

Funciones Secundarias	
1	
2	
3	
4	

Fallas Funcionales Motor auxiliar CNTR caterpillar serie 34	
Función	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
0.A	APAGADO POR BAJO NIVEL DE ACEITE
0.B	APAGADO POR BAJO NIVEL DE AGUA
0.C	ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN
0.D	APAGADO POR BAJA PRESION DE ACEITE
0.E	APAGADO POR BAJA PRESION DE COMBUSTIBLE
0.F	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DE ACEITE
0.G	BAJAS REVOLUCIONES DEL MOTOR
0.H	PERDIDA DE POTENCIA POR BAJA COMPRESIÓN EN LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN
0.I	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR

**Modos de Falla Motor auxiliar CNTR caterpillar
serie 34**

0 - A - 1	FUGA EN SELLO DE BOMBA DE ACEITE
0 - A - 2	FUGA EN GUIAS DE LAS VALVULAS
0 - A - 3	DESGASTE EN ANILLOS
0 - A - 4	DESGASTE EXCESIVO EN CILINDROS
0 - A - 5	FRACTURA DE ANILLOS
0 - A - 6	FUGA DE ACEITE POR EMPAQUE DEL CARTER
0 - A - 7	INSUFICIENTE DOSIFICACION
0 - B - 1	FUGA POR SELLO DE LA BOMBA DE AGUA
0 - B - 2	EVAPORACION POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR
0 - B - 3	FUGA POR SELLOS DE LA CULATA
0 - B - 4	FRACTURA DEL BLOQUE DEL MOTOR
0 - B - 5	FISURA DEL TANQUE DE EXPANSIÓN
0 - C - 1	DESALINEACION ENTRE MOTOR Y GENERADOR
0 - C - 2	DESGASTE DE PARTES INTERNAS
0 - C - 3	DESGASTE DE LOS SOPORTES ANTIVIBRACION DE LA BASE DEL MOTOR
0 - D - 1	FALLA DE LA BOMBA DE ACEITE
0 - D - 2	CONDUCTOS DE ACEITE OBSTRUIDOS
0 - D - 3	ACEITE EMULSIONADO
0 - E - 1	FALLA FUNCIONAL DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE
0 - E - 2	BAJO NIVEL DE COMBUSTIBLE O AUSENCIA DEL MISMO
0 - E - 3	FUGA EN LAS TUBERIAS DE COMBUSTIBLE DEL SISTEMA DE INYECCION
0 - F - 1	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - F - 2	ACEITE CON VISCOSIDAD INADECUADA
0 - F - 3	FALLA EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL ACEITE
0 - G - 1	REGULACION INADECUADA DEL GOVERNOR
0 - G - 2	BAJA COMPRESION EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN
0 - H - 1	DESGASTE EN LOS ANILLOS
0 - H - 2	DESGASTE POR PRESENCIA DE SILICE
0 - H - 3	VISCOSIDAD INADECUADA DEL ACEITE
0 - H - 4	DESGASTE EXCESIVO EN LOS ASCIENTOS DE LAS VALVULAS
0 - H - 5	DESGASTE EXCESIVO EN LAS GUIAS DE LAS VALVULAS
0 - H - 6	DESGASTE EXCESIVO EN EL VÁSTAGO DE LAS VALVULAS.
0 - I - 1	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL CARTER
0 - I - 2	PRESENCIA DE AIRE EN LA BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION
0 - I - 3	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - I - 4	BAJO NIVEL DE AGUA DEL MOTOR
0 - I - 5	BAJO NIVEL DE ACEITE DEL MOTOR

Motor auxiliar CNTR caterpillar serie 34

Referencia de información		Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de				TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	HA REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3	N1	N2	N3			
0	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	2	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	3	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	4	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	5	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	6	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	7	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	3	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	4	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	5	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	C	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	3	S	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	D	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	E	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	3	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	F	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	F	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	F	3	N	S	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINAS DE MEDICION DE TEMPERATUR	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	4	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	5	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	6	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	I	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	I	4	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	5	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA

Motor auxiliar HIDRÁULICO

Función Primaria Motor auxiliar hidráulico Caterpillar serie 34	
0	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
Funciones Secundarias	
1	
2	
3	
4	

Fallas Funcionales Motor auxiliar hidráulico caterpillar serie 34	
Función	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
0 - A	APAGADO POR BAJO NIVEL DE ACEITE
0 - B	APAGADO POR BAJO NIVEL DE AGUA
0 - C	ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN
0 - D	APAGADO POR BAJA PRESION DE ACEITE
0 - E	APAGADO POR BAJA PRESION DE COMBUSTIBLE
0 - F	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DE ACEITE
0 - G	BAJAS REVOLUCIONES DEL MOTOR
0 - H	PERDIDA DE POTENCIA POR BAJA COMPRESIÓN EN LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN
0 - I	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR

Modos de Falla Motor auxiliar hidráulico caterpillar serie 34

0 - A - 1	FUGA EN SELLO DE BOMBA DE ACEITE
0 - A - 2	FUGA EN GUIAS DE LAS VALVULAS
0 - A - 3	DESGASTE EN ANILLOS
0 - A - 4	DESGASTE EXCESIVO EN CILINDROS
0 - A - 5	FRACTURA DE ANILLOS
0 - A - 6	FUGA DE ACEITE POR EMPAQUE DEL CARTER
0 - A - 7	INSUFICIENTE DOSIFICACION
0 - B - 1	FUGA POR SELLO DE LA BOMBA DE AGUA
0 - B - 2	EVAPORACION POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR
0 - B - 3	FUGA POR SELLOS DE LA CULATA
0 - B - 4	FRACTURA DEL BLOQUE DEL MOTOR
0 - B - 5	FISURA DEL TANQUE DE EXPANSIÓN
0 - C - 1	DESALINEACION ENTRE MOTOR Y GENERADOR
0 - C - 2	DESGASTE DE PARTES INTERNAS
0 - C - 3	DESGASTE DE LOS SOPORTES ANTIVIBRACION DE LA BASE DEL MOTOR
0 - D - 1	FALLA DE LA BOMBA DE ACEITE
0 - D - 2	CONDUCTOS DE ACEITE OBSTRUIDOS
0 - D - 3	ACEITE EMULSIONADO
0 - E - 1	FALLA FUNCIONAL DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE
0 - E - 2	BAJO NIVEL DE COMBUSTIBLE O AUSENCIA DEL MISMO
0 - E - 3	FUGA EN LAS TUBERIAS DE COMBUSTIBLE DEL SISTEMA DE INYECCION
0 - F - 1	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - F - 2	ACEITE CON VISCOSIDAD INADECUADA
0 - F - 3	FALLA EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL ACEITE
0 - G - 1	REGULACION INADECUADA DEL GOVERNOR
0 - G - 2	BAJA COMPRESION EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN
0 - H - 1	DESGASTE EN LOS ANILLOS
0 - H - 2	DESGASTE POR PRESENCIA DE SILICE
0 - H - 3	VISCOSIDAD INADECUADA DEL ACEITE
0 - H - 4	DESGASTE EXCESIVO EN LOS ASCIENTOS DE LAS VALVULAS
0 - H - 5	DESGASTE EXCESIVO EN LAS GUIAS DE LAS VALVULAS
0 - H - 6	DESGASTE EXCESIVO EN EL VÁSTAGO DE LAS VALVULAS.
0 - I - 1	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL CARTER
0 - I - 2	PRESENCIA DE AIRE EN LA BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION
0 - I - 3	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - I - 4	BAJO NIVEL DE AGUA DEL MOTOR
0 - I - 5	BAJO NIVEL DE ACEITE DEL MOTOR

Motor auxiliar hidráulico caterpillar serie 34

Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	HA REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3	N1	N2	N3			
0	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	2	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	3	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	4	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	5	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	6	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	A	7	S	N	S	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	B	3	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	4	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	5	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	C	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	3	S	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	D	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	D	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	E	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	E	3	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	F	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	F	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	F	3	N	S	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINAS DE MEDICION DE TEMPERATUR	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	G	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	4	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	5	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	6	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	I	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	I	4	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA
0	I	5	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAQUINISTA

Motor PANGA

Función Primaria Motor Panga Caterpillar serie 34	
0	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
Funciones Secundarias	
1	
2	
3	
4	

Fallas Funcionales Motor Panga caterpillar serie 34	
Función	TRANSMISION DE ENERGIA MECANICA PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA
0 - A	APAGADO POR BAJO NIVEL DE ACEITE
0 - B	APAGADO POR BAJO NIVEL DE AGUA
0 - C	ALTOS NIVELES DE VIBRACIÓN
0 - D	APAGADO POR BAJA PRESION DE ACEITE
0 - E	APAGADO POR BAJA PRESION DE COMBUSTIBLE
0 - F	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DE ACEITE
0 - G	BAJAS REVOLUCIONES DEL MOTOR
0 - H	PERDIDA DE POTENCIA POR BAJA COMPRESIÓN EN LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN
0 - I	APAGADO POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR

Modos de Falla Motor Panga caterpillar serie 34

0 - A - 1	FUGA EN SELLO DE BOMBA DE ACEITE
0 - A - 2	FUGA EN GUIAS DE LAS VALVULAS
0 - A - 3	DESGASTE EN AHILLOS
0 - A - 4	DESGASTE EXCESIVO EN CILINDROS
0 - A - 5	FRACTURA DE AHILLOS
0 - A - 6	FUGA DE ACEITE POR EMPAQUE DEL CARTER
0 - A - 7	INSUFICIENTE DOSIFICACION
0 - B - 1	FUGA POR SELLO DE LA BOMBA DE AGUA
0 - B - 2	EVAPORACION POR ALTA TEMPERATURA DEL MOTOR
0 - B - 3	FUGA POR SELLOS DE LA CULATA
0 - B - 4	FRACTURA DEL BLOQUE DEL MOTOR
0 - B - 5	FISURA DEL TANQUE DE EXPANSIÓN
0 - C - 1	DESALINEACION ENTRE MOTOR Y GENERADOR
0 - C - 2	DESGASTE DE PARTES INTERNAS
0 - C - 3	DESGASTE DE LOS SOPORTES ANTIVIBRACION DE LA BASE DEL MOTOR
0 - D - 1	FALLA DE LA BOMBA DE ACEITE
0 - D - 2	CONDUCTOS DE ACEITE OBSTRUIDOS
0 - D - 3	ACEITE EMULSIONADO
0 - E - 1	FALLA FUNCIONAL DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE
0 - E - 2	BAJO NIVEL DE COMBUSTIBLE O AUSENCIA DEL MISMO
0 - E - 3	FUGA EN LAS TUBERIAS DE COMBUSTIBLE DEL SISTEMA DE INYECCION
0 - F - 1	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - F - 2	ACEITE CON VISCOSIDAD INADECUADA
0 - F - 3	FALLA EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL ACEITE
0 - G - 1	REGULACION INADECUADA DEL GOVERNOR
0 - G - 2	BAJA COMPRESION EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN
0 - H - 1	DESGASTE EN LOS AHILLOS
0 - H - 2	DESGASTE POR PRESENCIA DE SILICE
0 - H - 3	VISCOSIDAD INADECUADA DEL ACEITE
0 - H - 4	DESGASTE EXCESIVO EN LOS ASCIENTOS DE LAS VALVULAS
0 - H - 5	DESGASTE EXCESIVO EN LAS GUIAS DE LAS VÁLVULAS
0 - H - 6	DESGASTE EXCESIVO EN EL VÁSTAGO DE LAS VÁLVULAS.
0 - I - 1	ALTO NIVEL DE ACEITE EN EL CARTER
0 - I - 2	PRESENCIA DE AIRE EN LA BOMBA DEL SISTEMA DE REFRIGERACION
0 - I - 3	ALTO DESGASTE INTERNO DEL MOTOR
0 - I - 4	BAJO NIVEL DE AGUA DEL MOTOR
0 - I - 5	BAJO NIVEL DE ACEITE DEL MOTOR

Motor Panga caterpillar serie 34

Motor Panga caterpillar serie 34															
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			TAREA PROPUESTA	INTERVALO INICIAL	HA REALIZARSE POR
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4			
							O1	O2	O3	N1	N2	N3			
0	A	1	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	A	2	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	3	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	A	4	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	5	N	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	DIRECTOR DE FLOTA
0	A	6	S	N	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	A	7	S	N	S	N	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	B	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	B	2	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	B	3	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	4	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	B	5	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	C	1	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	C	3	S	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	D	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	D	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	D	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	E	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	E	2	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	E	3	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	F	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	F	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	F	3	N	S	S	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINAS DE MEDICION DE TEMPERATUR	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	G	1	N	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	G	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	1	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE ACEITE	POR MAREA	LABORATORIO
0	H	4	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	5	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	H	6	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION COMPRESION	POR MAREA	INGENIERO DE FLOTA
0	I	1	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	I	2	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	I	3	N	S	N	S	S	S	N	N	N	N	REALIZAR ANALISIS DE VIBRACIONES	POR MAREA	CONTRATISTA
0	I	4	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA
0	I	5	S	S	N	S	S	N	N	N	N	N	REALIZAR RUTINA DE INSPECCION VISUAL	2 VECES POR TURNO	MAGUINISTA

5.4 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR VIBRACIONES MECANICAS.

5.4.1 Objetivo.

Contribuir al aumento de la disponibilidad y optimización del mantenimiento de activos mediante el desarrollo y ejecución de un programa de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas.

5.4.2 Alcance.

Establecer la condición de los activos incluidos en el plan de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas y realizar recomendaciones integrales para mejorar la condición de los equipos que lo requieran.

5.4.3 Responsabilidades.

Todo el personal asignado al programa de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas es responsable de aplicar los procedimientos y de contribuir a la mejora continua del programa.

5.4.4 Analista de vibraciones.

Definición del rol: Ejecuta las tareas de análisis de vibraciones, para determinar la condición de los equipos críticos, advertir tempranamente las fallas y evitar sus consecuencias actuando de manera integral.

Responsabilidades del rol: Realizar los reportes de vibraciones mecánicas y manejo de los indicadores de predictivo por vibraciones mecánicas.

Descripción de las actividades principales del rol:

- Analizar los datos de vibraciones mecánicas, elaborar reportes semanales de cumplimiento de las rutas de vibraciones y condición de los equipos.
- Realizar órdenes de trabajo de las acciones de mantenimiento generadas por vibraciones mecánicas.
- Realizar reportes mensuales de los indicadores de predictivo por vibraciones mecánicas.
- Hacer uso integral de las tecnologías de mantenimiento predictivo para resolver los problemas detectados.

5.4.5 Técnico de predictivo.

Definición del rol: Ejecuta las rutas de vibraciones mecánicas establecidas en el programa de mantenimiento predictivo por vibraciones, para determinar la real condición de los equipos críticos, advertir tempranamente las fallas y evitar sus consecuencias actuando de manera proactiva.

Responsabilidad del rol: Realizar las tareas de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas, asegurando calidad y oportunidad de la

información, entregar reportes de cumplimiento de rutas, entregar informes de inspecciones básicas y correctivos realizados.

Descripción de actividades principales del rol:

- Ejecutar las tareas de Mantenimiento Predictivo, establecidas dentro del plan óptimo de Mantenimiento, para determinar la condición de los equipos y prevenir las consecuencias de las fallas.
- Realizar balanceos dinámicos y alineaciones de ejes.

5.4.6 Definiciones.

Teniendo en cuenta que no existen dos maquinas iguales, si podemos encontrar aspectos en común que permiten definir criterios estandarizados para el monitoreo de vibraciones.

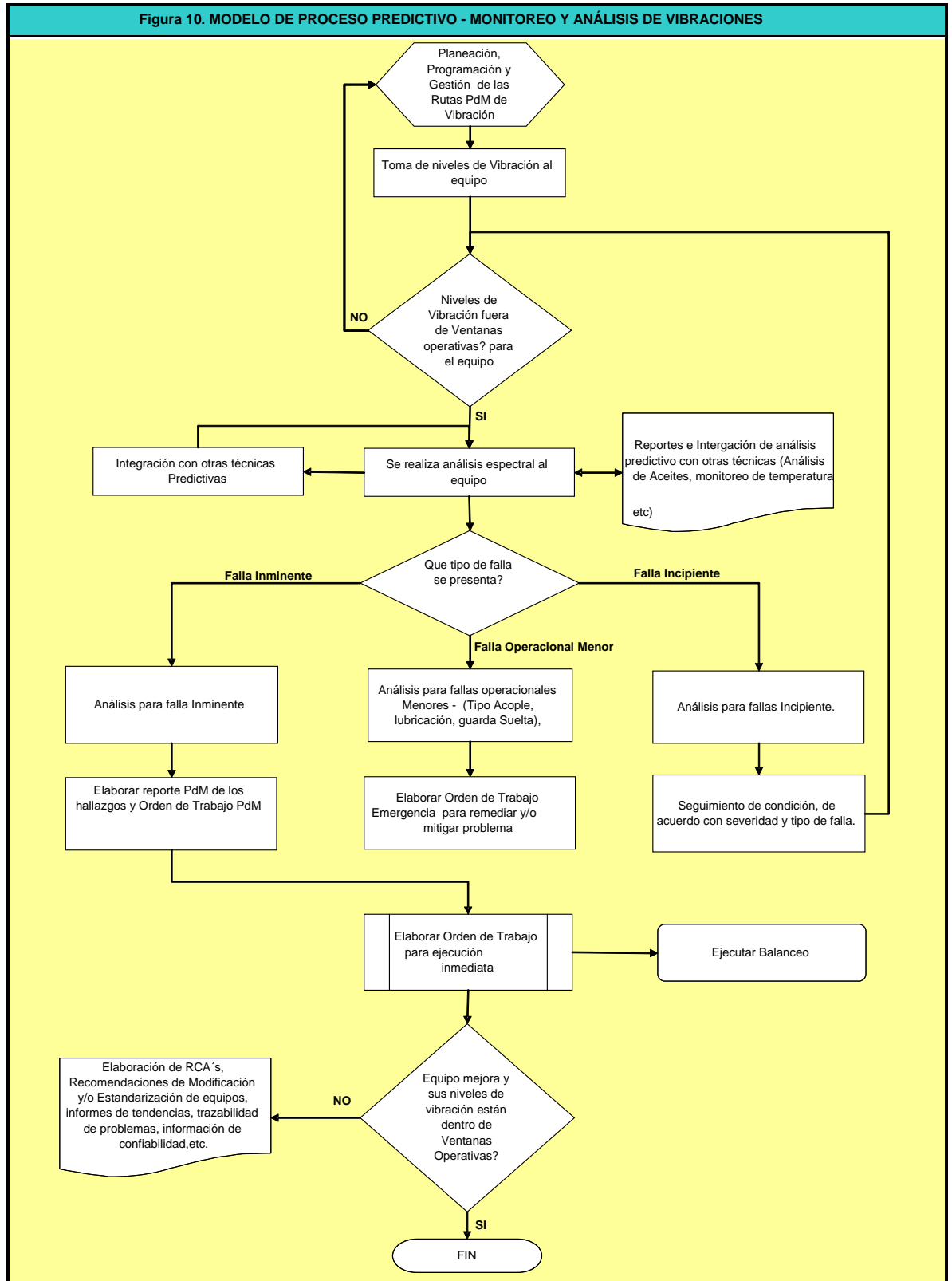
Este documento debe ser considerado como una referencia para configurar el monitoreo de vibraciones. Para realizar análisis más específicos se recomienda tener en cuenta el tipo de maquina y los modos de fallo de la misma.

Fundamentalmente se busca estandarizar el proceso, garantizar la repetitividad de los datos y la integridad de los mismos.

5.4.7 Contenido.

Modelo de proceso de predictivo, monitoreo y análisis de vibraciones.

Figura 10. MODELO DE PROCESO PREDICTIVO - MONITOREO Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES



- Planeación, programación y gestión de las rutas PDM de vibración.

La planeación, programación y gestión de las rutas de PDM de vibración se desarrollara en la Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO).

- Seleccionar los puntos de medición.

Los puntos de medición deben estar lo más cerca posible de los cojinetes de las máquinas. Hay que tratar de ubicar estos puntos dentro de la zona de carga del cojinete, sobretodo en máquinas con cojinetes de manguito, así como en máquinas con cojinetes con componentes giratorios de carga pesada o de baja velocidad.

No se debe comprometer la seguridad por una medición de vibraciones, si existe una situación de riesgo en el mercado se consiguen diferentes dispositivos para la toma segura y confiable de datos de vibraciones.

Tomar mediciones en dirección horizontal, vertical y axial (Ver figura 11 y figura 12). Los puntos de medición no pueden estar ubicados en láminas delgadas/débiles.

Figura 11. Puntos de medición

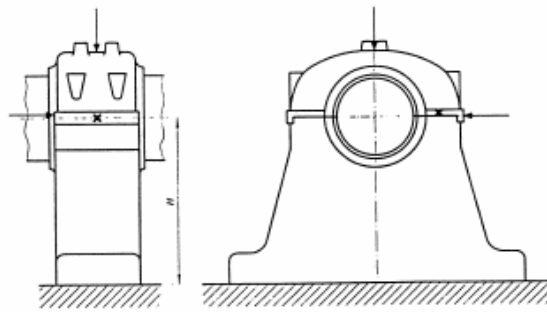
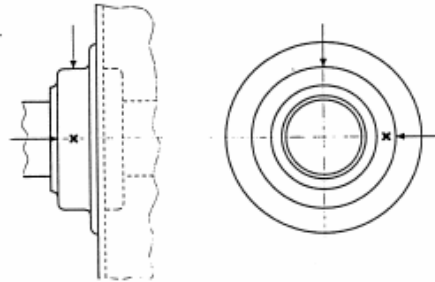
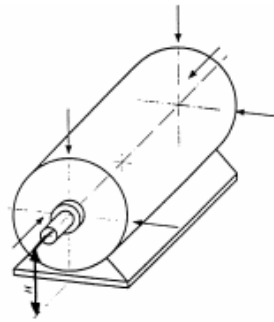
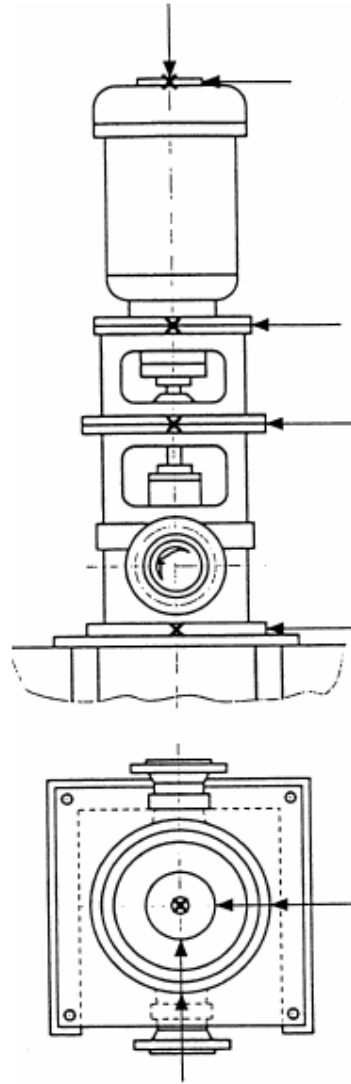


Figura 12. Puntos de medición de vibraciones

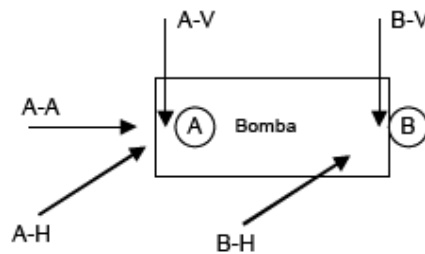


- Identificación de los puntos de medición.

Adoptar convenciones de denominación e identificación de puntos para todas las máquinas y puntos que vayan a incluirse en el programa de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas. Es importante tener en cuenta los siguientes puntos al adoptar nombres convencionales y marcarlos físicamente en las máquinas:

- Numerar los puntos de medición empezando del cojinete exterior del motor al cojinete exterior de la máquina impulsada (Ver figura 3).
- Usar letras convencionales para identificar la dirección del transductor.

Figura 13. Numeración puntos de medición de vibraciones



Marcar las máquinas con los nombres que aparecen en la base de datos del programa de mantenimiento predictivo por vibraciones mecánicas.

Realizar hojas de datos de los equipos de mantenimiento predictivo con dibujos que muestren claramente las ubicaciones de los puntos de medición en la máquina, datos técnicos, parámetros de funcionamiento, etc.

Realizar mapa de ubicación de los equipos PMP en la planta.

- Parámetros de medición.

Antes de determinar los parámetros de medición se debe tener en cuenta las limitaciones de los equipos de monitoreo y las características de los equipos a monitorear. Cuando se presente el caso se debe dejar constancia por escrito de las limitaciones de las mediciones que se pueden realizar y que hay problemas que no pueden ser detectados con los equipos disponibles.

Es muy importante conocer las frecuencias de origen de la vibración en la máquina como las frecuencias de rodamientos, engranajes, de paso de aspas, de línea eléctrica, de paso de aspas del rotor, etc. Asimismo se deben considerar las armónicas de estas frecuencias.

Antes de determinar los parámetros a medir se debe conocer las herramientas del equipo disponible. Consultar con el fabricante las recomendaciones para sacar el mejor provecho al equipo disponible.

Existe amplia literatura acerca de cómo configurar un punto de medición de acuerdo a un modo de falla específico, a continuación citamos algunos textos

- Vibraciones básicas de máquinas. Una introducción a las pruebas de máquinas, análisis y monitoreo. Ronald L. Eshleman. Clarendon Hills, Illinois, Mayo, 1999.
 - IRD Curso de Capacitación Inicial. Análisis 1. Mantenimiento Predictivo y Análisis de Señal de Identificación de Vibración 1. Por Jaimes E. Berry, P.E, Ingeniero Mecánico. IRD Mechanalysis inc. Primera edición Junio 1993.
-
- Toma de datos.

- Usar la base magnética como método de montaje para la toma de datos.
- Cuando no sea posible el uso de la base magnética se debe evaluar el uso de la mejor alternativa disponible.
- Consultar con el fabricante si existen requerimientos especiales de montaje para el uso de algunas técnicas de medición del equipo disponible.
- Las mediciones deben realizarse cuando el rotor y los descansos principales han alcanzado sus temperaturas estacionarias de trabajo y con la máquina funcionando bajo condiciones nominales, como voltaje, flujo, presión, carga. En máquinas con velocidad variable las mediciones deberían realizarse en las condiciones extremas.
- Evaluación de la condición de los equipos.

Para definir la severidad de una vibración es necesario definirla respecto al daño específico que ella puede generar.

Respecto al daño que se quiera evaluar, o de acuerdo a los objetivos para los cuales fueron confeccionados, existen numerosos estándares para la severidad vibratoria o valores admisibles para la vibración- Algunos estándares son publicados por grupos de industrias tales como, American Petroleum Institute (API), American gear Manufacturers Association (AGMA), National Electric Manufacturers Association (NEMA), etc. Además hay estándares publicados por organizaciones tales como American National Standards Institute (ANSI), Asociación Alemana de Ingenieros (VDI) o International Standard Organization (ISO).

Dentro de los estándares más usados están:

ISO 2372: Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s. Basis for specifying evaluation standards.

Este es un estándar general para máquinas rotatorias diseñado para evaluar principalmente la severidad vibratoria de máquinas en el taller o en los ensayos de aceptación de máquinas.

ISO 3945: Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 rev/seg. Measurements and evaluation of vibration severity in situ.

Este estándar es similar al anterior, es para un tipo más específico de máquinas, para máquinas rotatorias grandes es decir, sobre 300 kw y esta diseñado para evaluar la severidad vibratoria de máquinas tomadas en terreno.

ISO 2373: Mechanical vibration of certain rotating electrical machinery with shaft heights between 80 and 400 mm.- Measurement and evaluation of the vibration severity.

Este estándar es aplicable a máquinas eléctricas trifásicas de corriente alterna y a máquinas de corriente continua.

ISO 10816: Este estándar consiste de cinco partes bajo el título general: Mechanical Vibration.- Evaluation of machina by measurement on non-rotating parts.

- Part 1 : General guidelines.

- Part 2 : Large land-based steam turbina generator sets in exceso of 50 MW.
- Part 3 : Industrial machines with nominal power above 15 kw and nominal speeds between 120 rmin and 15000 r/min when measured in situ.
- Part 4 : Gas turbine driven sets excluding aircraft derivatives.
- Part 5 : Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants.
- Part 6 : Reciprocating machines with power rating above 100 MW.

Este nuevo estándar evalúa la severidad vibratoria de máquinas rotatorias a través de mediciones efectuadas en terreno en partes no giratorias de ellas. Envuelve y amplía los estándares citados anteriormente (Ver figura 4 y figura 5).

Figura 14. Norma ISO 10816-1

Per ISO 10816-1:

Velocity measurements can be categorized as follows:

Class I machines may be separated driver and driven, or coupled units comprising operating machinery up to approximately 15kW (approx 20hp).
Class II machinery (electrical motors 15kW(20hp) to 75kW(100hp), <i>without special foundations, or Rigidly mounted engines or machines up to 300kW (400hp) mounted on special foundations</i>
Class III machines are large prime movers and other large machinery with large rotating assemblies <i>mounted on rigid and heavy foundations</i> which are reasonably stiff in the direction of vibration.
Class IV includes large prime movers and other large machinery with large rotating assemblies <i>mounted on foundations which are relatively soft in the direction of the measured vibration</i> (i.e., turbine generators and gas turbines greater than 10MW (approx. 13500hp) output.

Related typical zone boundary limits are outlined as follows:

Velocity Severity		Velocity Range Limits and Machine Classes			
mm/s RMS	in/s Peak	Small Machines Class I	Medium Machines Class II	Large Machines	
				Rigid Supports Class III	Less Rigid Supports Class IV
0.28	0.02	Good	Good	Good	Good
0.45	0.03				
0.71	0.04				
1.12	0.06	Satisfactory	Satisfactory	Good	Good
1.80	0.10	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)		
2.80	0.16	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Satisfactory	Satisfactory
4.50	0.25			Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)
7.10	0.40	Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)	Unacceptable (alert)	Unacceptable (alert)
11.20	0.62			Unacceptable (alert)	Unacceptable (alert)
18.00	1.00			Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
28.00	1.56				
45.00	2.51				

Enveloped Acceleration (gE) is not categorized by ISO 10816-1, however, this is a valuable assessment tool for rolling element bearing condition, and may be utilized in conjunction with the above general guidelines. Note that machines are classified according to shaft size (in mm) and rotating speed, which are a function of bearing design.

Enveloping Severity	Shaft Diameter & Speed		
gE peak to peak	Dia. between 200 & 500mm and Speed <500rpm	Dia. Between 50 & 300 mm & speed between 500 & 1800rpm	Dia. Between 20 & 150mm & Speed is either 1800 or 3600rpm
0.1	Good	Good	Good
0.5	Satisfactory	Satisfactory	Good
0.75	Unsatisfactory (alert)		Satisfactory
1	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)	Satisfactory
2	Unacceptable (danger)	Unsatisfactory (alert)	Unsatisfactory (alert)
4		Unacceptable (danger)	Unacceptable (danger)
10			Unacceptable (danger)

ISO 7919: Este estándar consiste de cinco partes bajo el título general : Mechanical vibration of non-reciprocating machines. – Measurements on rotating shafts and evaluation criteria.

- Part 1: General guidelines.
- Part 2: Large land-based steam turbina generator sets.
- Part 3: Coupled industrial machines.
- Part 4: Gas turbine sets.
- Part 5: Machine sets in hydraulic power generating and pumping plants.

Hay máquinas, tales como aquéllas que tienen rotors flexibles montadas en descansos hidrodinámicos, para las cuales las mediciones en la caja de los descansos puede no ser totalmente adecuada como criterio de evaluación. En tales casos puede ser necesario monitorear la máquina usando más mediciones directamente al eje de los rotores. Para tales máquinas los requerimientos establecidos en ISO 7919 son complementarios a los indicados en ISO 10816.

VDI 2063: Measurement and evaluation of mechanical vibrations of reciprocating piston engines piston compressors.

Este estándar limita la severidad de las vibraciones medidas en diferentes puntos de la superficie de la máquina para evitar daño de los componentes conectados o montados en ella.

ISO 8579: Acceptance code for gears – Determination of mechanical vibration of gears units during acceptance testing.

ISO 2631: Este estándar bajo el título general: Evaluación of human exposure to whole-body vibration, consta de cuatro partes:

- Part 1: General requirements.
- Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz).
- Part 3: Whole-body z axis vertical vibration (0.1 to 0.63 Hz).

Este estándar limita las vibraciones de las superficies que están en contacto con el ser humano. La severidad vibratoria es cuantificada midiendo aceleración vibratoria en el rango de 1 a 80 Hz.

- Realización de reportes de condición de los equipos.

La norma ISO 10816-1 que sirve como guía general establece cuatro niveles para evaluar la condición de las máquinas de PDM, los cuales son condición buena, condición satisfactoria, condición insatisfactoria y condición inaceptable.

El técnico predictivo luego de coleccionar los datos de una ruta debe entregar reporte de los equipos programados, los equipos medidos y equipos con condiciones que ameriten atención inmediata del analista de vibraciones (Ver figura 15). De acuerdo al análisis puede ser necesario hacer un reporte inmediato con la condición del equipo y las recomendaciones a los responsables del equipo.

El analista de vibraciones debe realizar un reporte semanal de la condición de los equipos medidos en esa semana. El reporte semanal debe incluir la condición del equipo, el diagnostico del problema para los equipos que lo requieran, las ordenes de trabajo con las recomendaciones del analista para solucionar el problema (Ver figura 16).

El analista de vibraciones debe hacer un reporte mensual con la condición de los equipos, las ordenes de trabajo y los indicadores del mes del PDM (Ver figura 17)

Figura 15. Reporte preliminar de medición de vibraciones.

RUTA	EQUIPO	COMPONENTE	TOMA DE DATOS	OBSERVACIONES
R-A-10	Compresor 1	Motor	SI	Ninguna
R-A-10	Compresor 1	Compresor	SI	Ninguna
R-A-10	Bomba 3	Motor	NO	Equipo en paro programado
R-A-10	Bomba 3	Bomba	NO	Equipo en paro programado

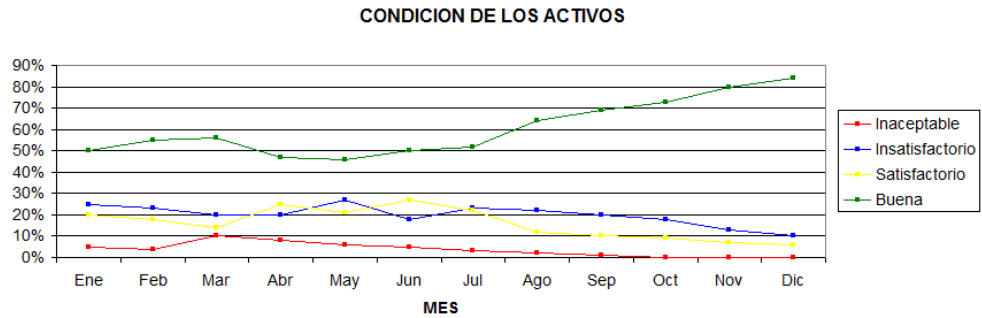
PROGRAMADOS	4
MEDIDOS	2
CUMPLIMIENTO	50%

Figura 16. Reporte semanal de medición de vibraciones.

TAG	NOMBRE DEL EQUIPO	COMPONENTE	DIAGNOSTICO	RECOMENDACIÓN	N° OT	FECHA DE MEDICIÓN	CONDICIÓN ACTUAL	CONDICIÓN ANTERIOR
1002	Compresor 1	Motor	Rodamientos en falla	Cambio de los rodamientos	1023	Mayo 12 2008	Insatisfactoria	Normal
2100	Bomba 3	Bomba	Problemas de lubricación en rodamientos de la bomba	Relubricar los rodamientos del motor	1024	Mayo 10 2008	Emergencia	Normal

Figura 17. Reporte mensual de medición de vibraciones

Condición	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inaceptable	5%	4%	10%	8%	6%	5%	3%	2%	1%	0%	0%	0%
Insatisfactorio	25%	23%	20%	20%	27%	18%	23%	22%	20%	18%	13%	10%
Satisfactorio	20%	18%	14%	25%	21%	27%	22%	12%	10%	9%	7%	6%
Buena	50%	55%	56%	47%	46%	50%	52%	64%	69%	73%	80%	84%



El equipo de PMP debe mantener un seguimiento sobre los equipos que presenten ordenes de trabajo pendientes para evaluar la evolución en la condición del equipo, si la condición del equipo desmejora debe hacer un reporte para informar esta condición a los responsables del equipo.

En todos los casos que el PMP haga recomendaciones para mejorar la condición de un equipo, se deben hacer mediciones después de los correctivos y realizar reporte sobre la condición del equipo después de los correctivos y evaluar la acertividad en el diagnóstico.

5.5 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO POR ANÁLISIS DE ACEITES.

5.5.1 Objetivo.

Contribuir al aumento de la disponibilidad y optimización del mantenimiento de activos mediante el desarrollo y ejecución de un programa de mantenimiento predictivo por análisis de aceites.

5.5.2 Alcance.

Establecer la condición de los activos incluidos en el plan de mantenimiento predictivo por análisis de aceites y realizar recomendaciones integrales para mejorar la condición de los equipos que lo requieran.

5.5.3 Responsabilidades.

El Director de Flota, Ingeniero de Flota, y el Ingeniero de Máquinas de la Embarcación son responsables de aplicar los procedimientos y de contribuir a la mejora continua del programa.

5.5.4 Definición de Roles y Responsabilidades.

Director de Flota

DEFINICIÓN DEL ROL: Ejecuta las tareas de análisis del reporte de análisis de aceites para determinar la condición de los equipos incluidos en el programa de mantenimiento predictivo por análisis de aceites, advertir tempranamente las fallas y evitar sus consecuencias actuando de manera integral.

RESPONSABILIDADES DEL ROL: Realizar los análisis de los reportes de análisis de aceites, seguimiento al cumplimiento y efectividad de las recomendaciones.

DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL ROL:

- Analizar los datos de análisis de aceites.
- Realizar órdenes de trabajo de las acciones de mantenimiento generadas del análisis de aceites.
- Realizar seguimiento al cumplimiento y efectividad de las recomendaciones
- Cuando lo juzgue necesario solicitar apoyo de las otras tecnologías de mantenimiento predictivo para resolver los problemas detectados.

Ingeniero de Flota

DEFINICIÓN DEL ROL: Recolecta las muestras entregadas por los ingenieros de cada embarcación a su arribo a muelle para enviarlas al laboratorio de análisis de aceite del proveedor de los mismos. Advertir tempranamente las fallas y evitar sus consecuencias actuando de manera proactiva. Generación de los indicadores de predictivo por análisis de aceite.

RESPONSABILIDAD DEL ROL: Realizar los análisis de los reportes de análisis de aceites, seguimiento al cumplimiento y efectividad de las recomendaciones. Digitar la información necesaria para que el laboratorio de análisis de aceite proceda.

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL ROL:

- Recolección de las muestras de cada embarcación.
- Digitación de los datos de las muestras recolectadas
- Envío de las muestras al laboratorio de análisis de aceites.
- Archivo de la información suministrada por el laboratorio.
- Generación de índices e indicadores para cada embarcación.
- Elaborar reportes por barco del cumplimiento de las tomas de muestra de los diferentes equipos de cada embarcación.
- Realizar informes por barco de los indicadores de predictivo por análisis de aceites.

Ingeniero de Maquinas de Embarcación

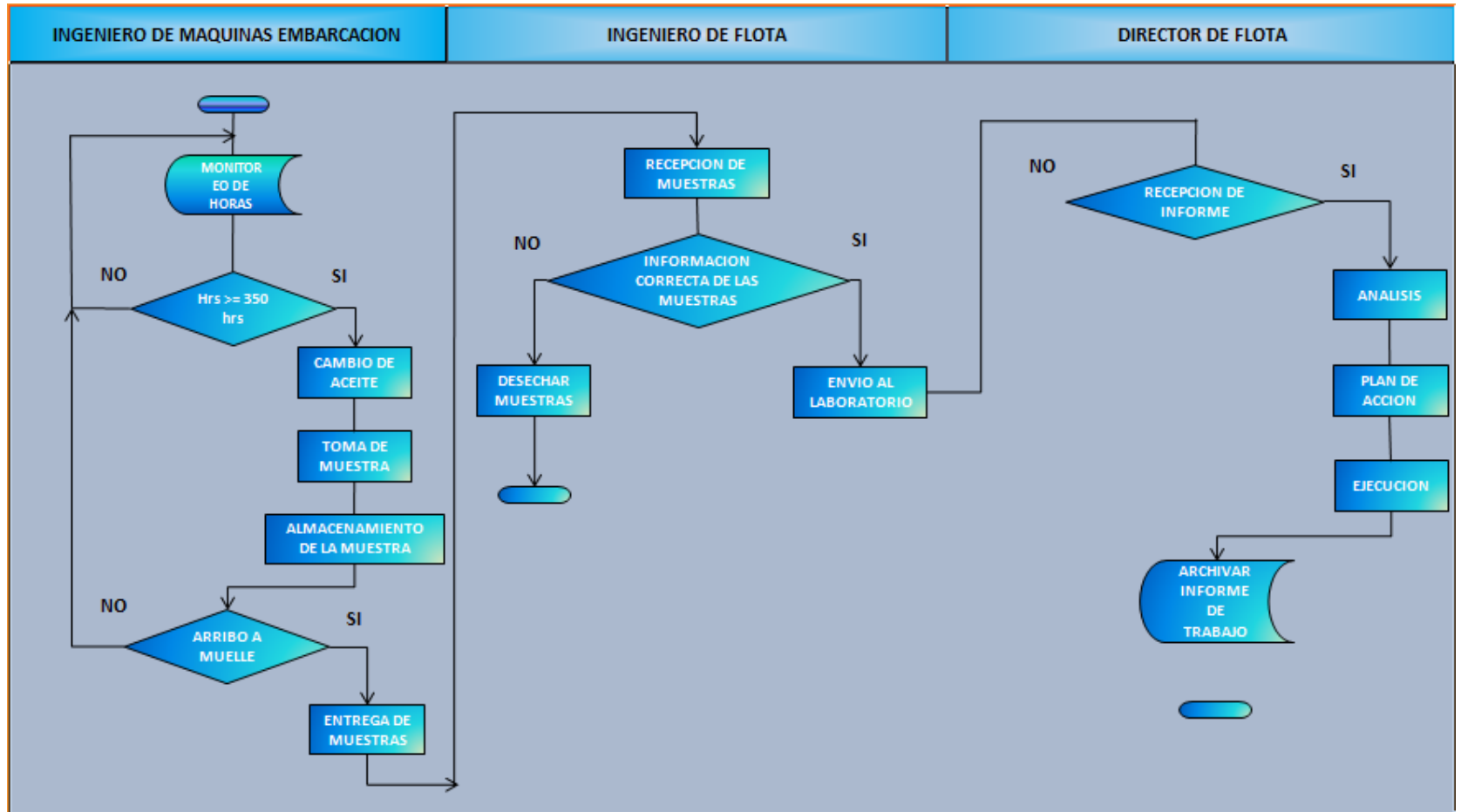
DEFINICIÓN DEL ROL: Recolecta las muestras directamente de los equipos a evaluar, cumple con las tareas de mantenimiento generadas por el director de Flota,

RESPONSABILIDAD DEL ROL: Realizar las tareas de mantenimiento predictivo por análisis de aceites, asegurando calidad y oportunidad de la información, entregando reportes de cumplimiento de tomas de muestras, suministrando informes de inspecciones básicas y correctivos realizados.

DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES PRINCIPALES DEL ROL:

- Ejecutar las tareas de Mantenimiento Predictivo por análisis de aceites establecidas dentro del plan óptimo de Mantenimiento, para determinar la condición de los equipos y prevenir las consecuencias de las fallas.

5.5.5 *Modelo de proceso de monitoreo y análisis de aceites*



5.5.6 Planeación, programación y gestión de las rutinas de tomas de muestra de aceites.

Las rutinas planeadas para la inspección y análisis de los equipos buscan mantener el buen funcionamiento de los mismos, aprovechando al máximo su operación.

5.5.7 Análisis de aceites

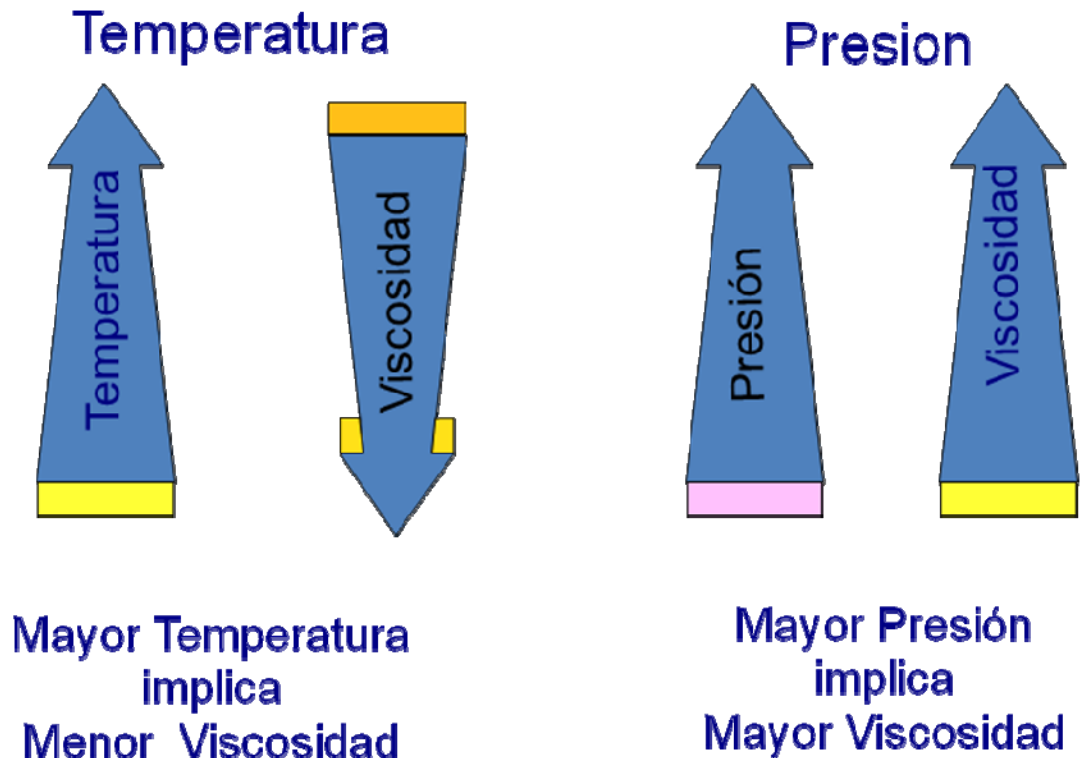
Análisis pertinentes

- Viscosidad
- Contenido de Agua
- Oxidación/Nitración
- Hollín
- TBN/TAN
- Mediciones de Desgaste
 - Contenido de metales (espectroscopía)
 - Conteo de partículas
 - Ferrografía

Viscosidad

- **Definición:**
 - Es la resistencia de los líquidos a fluir.
 - Entre mayor sea la viscosidad mayor es la resistencia.
- **Unidades de Medición:**
 - Centistokes [mm^2/seg]
 - Segundos Saybolt Universal [SUS]
 - Grados Engler
 - Segundos Redwood
 - Segundos Furol

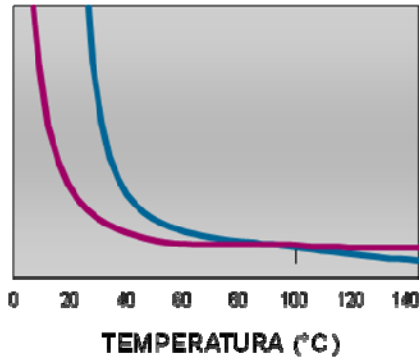
FACTORES QUE AFECTAN A LA VISCOSIDAD



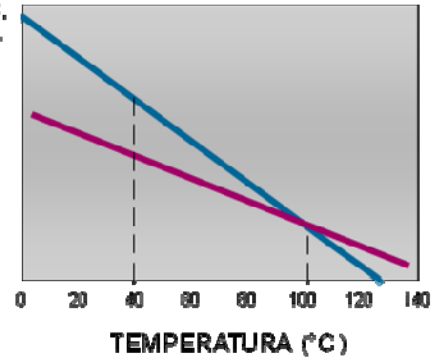
- La influencia de ambos Factores es muy FUERTE
- El esfuerzo de corte afecta también a la viscosidad (FLUIDOS NO-NEWTONIANOS)

DIAGRAMAS VISCOSIDAD - TEMPERATURA

VISCOSIDAD
CINEMATICA



DOBLE
LOG. DE
LA VISC.
CINEM.

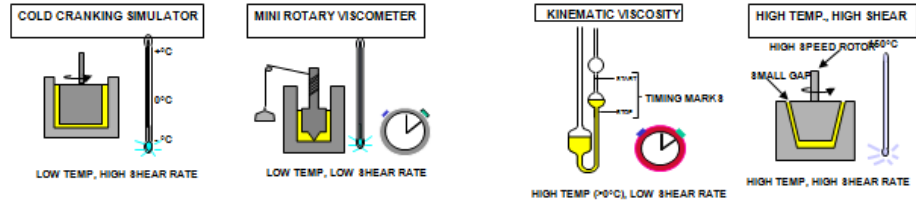


IV = 95

IV = 135

- El índice de viscosidad (IV) es un número empírico que indica
- El efecto del cambio de temperatura sobre la viscosidad del aceite
- Alto "IV" significa menos cambio de viscosidad con la temperatura

CLASIFICACION SAE PARA MOTOR



GRADO SAE	BAJA TEMP- VISCOSIDAD (CCS) (cP)	BOMB. A BAJA TEMP. VISC. (MRV), CENTIPOISE (cP)	KV 100°C cSt	VISCOSIDAD A ALTA TEMP. Y ALTO CORTE a 150°C, 10 ⁶ s ⁻¹ (cP)
0W	3250 cP max. at -30°C	60,000 cP max at -40°C	3.8 min	
5W	3500 cP max. at -25°C	60,000 cP max at -35°C	3.8 min	
10W	3500 cP max. at -20°C	60,000 cP max at -30°C	4.1 min	
15W	3500 cP max. at -15°C	60,000 cP max at -25°C	5.6 min	
20W	4500 cP max. at -10°C	60,000 cP max at -20°C	5.6 min	
25W	6000 cP max. at -5°C	60,000 cP max at -15°C	9.3 min	
20			5.6 - 9.3	2.6 min
30			9.3 - 12.5	2.9 min
40	(0W-40, 5W-40 and 10W-40 GRADES)		12.5 - 16.3	2.9 min
40	(15W-40, 20W-40, 25W-40 AND 40 GRADES)		12.5 - 16.3	3.7 min
50			16.3 - 21.9	3.7 min
60			21.9 - 26.1	3.7 min

SAE J306 JUL' 98 : ACEITES PARA ENGRANAJES

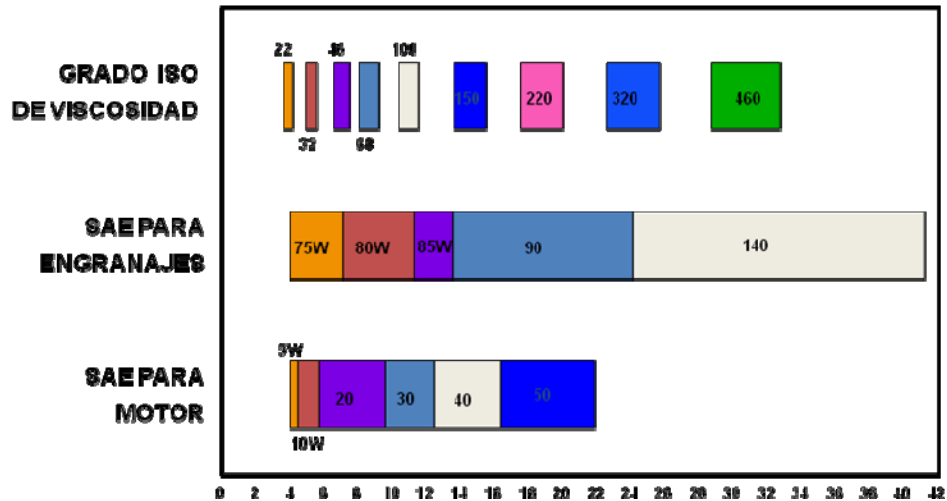
GRADO SAE DE VISCOSIDAD	Temperatura MAXIMA para Viscosidad de 150,000 cP, °C	Viscosidad a 100°C, cSt	
		Mínimo	Máximo
70W	-55	4.1	
75W	-40	4.1	
80W	-26	7	
85W	-12	11	
80		7.0	<11.0
85		11.0	<13.5
90		13.5	<24.0
140		24	<41.0
250		41	

GRADOS DE VISCOSIDAD INDUSTRIAL EN CENTISTOKES

ISO VG	Media	Mínimo	Máximo
2	2.2	1.98	2.42
3	3.2	2.88	3.52
5	4.6	4.14	5.06
7	6.8	6.12	7.48
10	10	9	11
15	15	13.5	16.5
22	22	19.8	24.2
32	32	28.8	35.2
46	46	41.4	50.6
68	68	61.2	74.8
100	100	90	110
150	150	135	165
220	220	198	242
320	320	288	352
460	460	414	506
680	680	612	748
1000	1000	900	1100

Comparación de Escalas

Este cuadro muestra la relación entre algunos grados de Viscosidad ISO, grados SAE de aceites para engranajes y SAE para motor, y la Visc. a 100°C. en cSt (esto es válido para IV=95)



Análisis de Viscosidad de Aceite Usado

- Las viscosidades de los aceites usados se miden a diferentes temperaturas de acuerdo al tipo de aceite.
- A los aceites para motor se les mide la viscosidad en centistokes a 100°C, la máxima variación permisible es el 20% de incremento o caída de la viscosidad a partir del valor original.
- A los aceites industriales se les mide la viscosidad en centistokes a 40 °C, la máxima variación permisible es el 10% de incremento o caída de la viscosidad a partir del valor original.
- La viscosidad puede incrementarse por oxidación (degradación por trabajo a alta temperatura), por contaminación con aceites más viscosos y por emulsificación con agua.

- La viscosidad puede bajar por contaminación con otros líquidos miscibles de menor viscosidad.

Dilución con Combustible Diesel

- La causa más frecuente para la reducción de la viscosidad de los aceites de los motores diesel es la contaminación con combustible.
- La máxima contaminación permisible depende de la viscosidad del aceite en uso, sin embargo nunca debe ser superior a 5% en volumen.
- Una manera práctica de detectar la contaminación del aceite de motor con combustible diesel es dejar caer un par de gotas de aceite sobre un papel. Si el aceite está contaminado entonces se formarían 2 círculos concéntricos, el círculo interior es de aceite y el exterior de combustible. El diámetro del círculo mayor no debe superar 2 veces el diámetro del círculo interno.

Contenido de Agua

- Los aceites lubricantes no deben contener agua, sin embargo dadas las circunstancias de operación es posible que en algunos casos sea inevitable la contaminación.
- El agua puede provenir de:
 - Los sistemas de enfriamiento
 - Condensación
 - Contaminación externa
- La presencia de agua causa corrosión por formación de ácidos. Adicionalmente puede aumentar la viscosidad del lubricante por formación de emulsiones.

- El contenido máximo permisible de agua es de 0,1% en peso para aceites industriales.
- El contenido máximo permisible de agua es de 0,2% en peso para aceites automotrices.

Oxidación

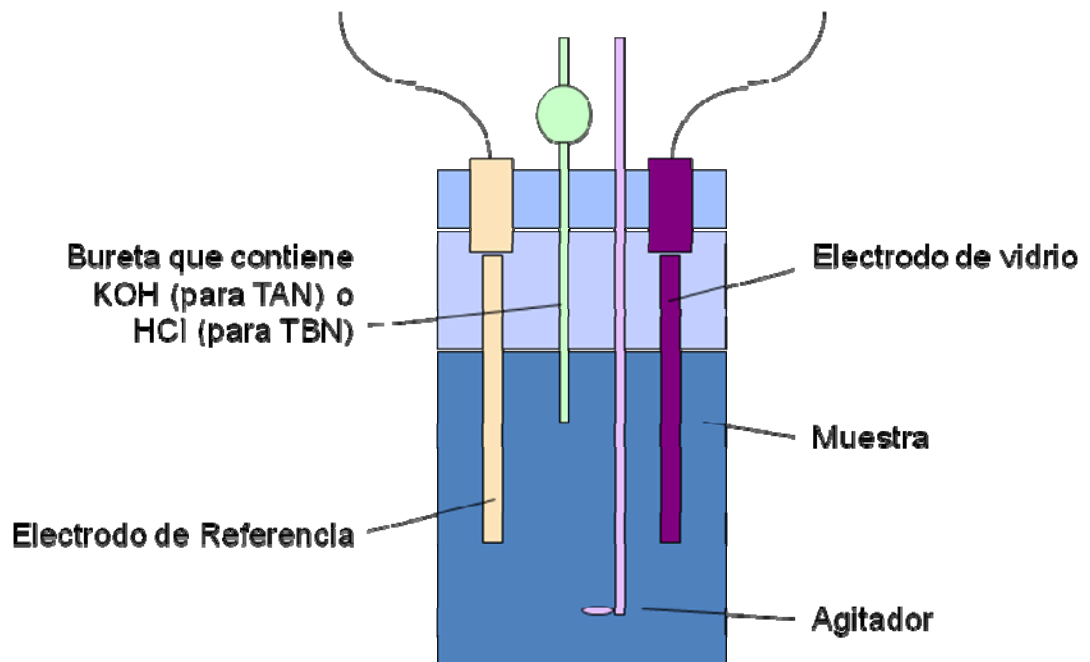
- Este fenómeno ocurre cuando el oxígeno ataca a los fluidos derivados del petróleo.
- El fenómeno es acelerado por el calor, la luz, la presencia de metales disueltos y la presencia de agua.
- Las consecuencias visibles son el aumento de la viscosidad, la formación de depósitos y el oscurecimiento del aceite.
- Las consecuencias no visibles son la degradación del aceite, la reducción del TBN, la formación de ácidos y la pérdida de las cualidades lubricantes del aceite.
- La prueba para su medición no está estandarizada y los límites condenatorios dependen de cada laboratorio.
- El límite condenatorio para oxidación en el laboratorio Mobil es el valor de 20 A/cm.

Nitración

- Formación de subproductos de nitrógeno dentro del aceite, especialmente común en motores de combustión interna que funcionan con gas como combustible.

- La mayor parte los productos de la nitración se forman por exceso de aire en la combustión. Estos productos tienden a formar ácidos dentro del aceite y facilitan la oxidación del aceite.
- La nitración se mide de la misma forma que la oxidación, y el valor máximo permitido en la metodología de Mobil es de 20 A/cm.

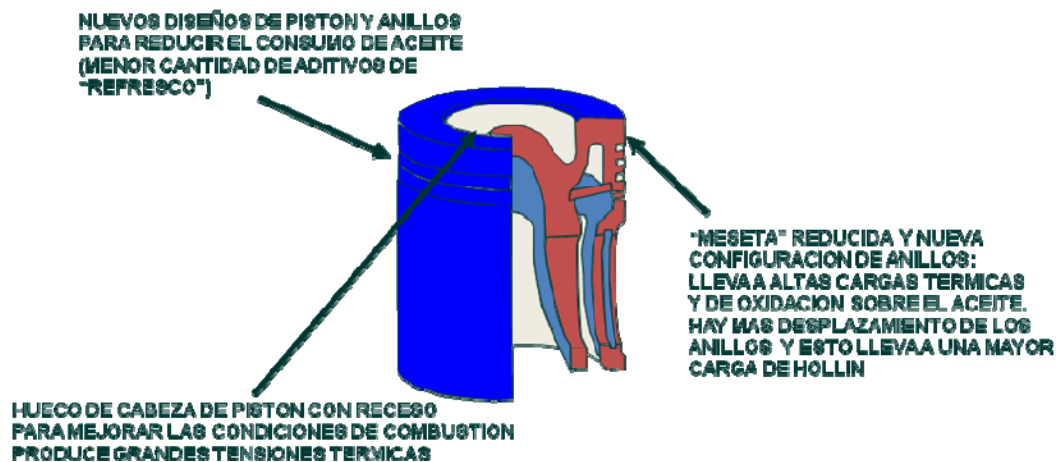
TAN/TBN



- TBN : la cantidad de ácido, expresada como el número equivalente de mg de KOH, requerido para neutralizar (hasta un valor de pH patrón) todos los componentes básicos presentes en un 1g de muestra.
- TAN: cantidad de base, expresada en miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar los ácidos presentes en un gramo de muestra.

- El valor mínimo de TBN es 1. Los aceites que bajan de este valor ya no tienen capacidad para controlar los ácidos que se puedan formar en el aceite. El TBN es muy usado en motores de combustión interna, especialmente en lo que usan diesel con alto contenido de azufre como combustible.
- Según Caterpillar el valor de TBN de un aceite no puede ser inferior a la mitad de su valor original.
- El TAN es una medición indirecta de la oxidación de un aceite, ya que cuando un lubricante se oxida se producen ácidos en su interior. El TAN es especialmente usado en aceites de turbinas. El valor máximo permisible es 2.
- Pruebas paralelas al TBN y TAN son las de número de neutralización o NN.

Hollín



- La medición de la cantidad de hollín es indispensable para el control del estado del aceite en los motores diesel de última generación

- El hollín se mide en la misma prueba en que se miden la oxidación y la nitración y el valor máximo permisible en la metodología de ESSO es 0.2 A/0.1mm.

Puntos de muestreo.

Los equipos poseen puntos en los cuales de manera segura se pueden tomar las muestras de los aceites a ser analizados. Para los equipos Caterpillar de la serie 34 se muestra uno de los posibles puntos de muestreo.



Es de vital importancia la buena manipulación de este aceite evitando que se contamine con agentes externos que posteriormente en el análisis nos indique altos niveles de concentración de partículas, lo cual conllevará a un reporte de laboratorio errado y por consiguiente a acciones a tomar equivocadas.

Informe de Laboratorio

Existen varios modelos de la presentación de los informes de laboratorio, a continuación se muestra un modelo de estos, que considera diferentes elementos presentes en los aceites lubricantes.

Se analizan cada uno de los componentes de los aceites lubricantes silicio, agua, cobre, sílice, hierro entre otros.

6. IMPLEMENTACIÓN

6.1 ESTIMADOS GENERALES

Los datos para los cálculos de la viabilidad del proyecto vienen de la empresa Seatech Internacional Inc y de un proveedor del servicio de mantenimiento predictivo.

Cuadro 16. Estimados generales

ESTIMADOS GENERALES		USD (\$2308,65)
Valor Promedio Tonelada de Atun	\$ 3.900.000	\$ 1.689,30
Margen Contribución Tonelada Atun (20%)	\$ 780.000	\$ 346,67

6.2 RESUMEN DE PAROS POR AVERÍAS EN EQUIPOS CRITICOS DE LOS BARCOS DE LA FLOTA DE SEATECH INTERNATIONAL INC.

Los cuadros 17 y 18 muestran la estadística de paros por averías en equipos críticos de los barcos de la flota seatech internacional Inc, durante los años 2007 y 2008.

Cuadro 17. Resumen paros barco 1 a 6.

TIEMPO AVERIAS Y REPARACIONES MECANICAS

	Hr PARO		PROMEDIO	PRODUCTIVIDAD	PROMEDIO TON/AÑO	PROMEDIO TON/AÑO NO PRODUCIDAS POR BARCO	M.C. PROMEDIO PERDIDO	M.C. PROMEDIO PERDIDO BARCO
	AÑO							
	2006	2007	HRS/AÑO	TON/HR.	NO PRODUCIDAS			
EQUIPOS CRITICOS ATUNEROS SEACTECH. MARGEN DE CONTRIBUCION POR TONELADA (U SD) \$347								
BARCO 1	MOTOR PINCIPAL EMD	12	0	6,0	1,20	7	\$2.498,40	\$14.158,53
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	8	0	4,0	1,20	5	\$1.665,60	
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	4	3	3,5	1,20	4	\$1.457,40	
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	13	4	8,5	1,20	10	\$3.540,33	
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	11	3	7,0	1,20	8	\$2.914,80	
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	5	5	5,0	1,20	6	\$2.082,00	
BARCO 2	MOTOR PINCIPAL EMD	4	0	2,0	1,20	2	\$832,80	\$16.354,34
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	15	0	7,4	1,20	9	\$3.076,73	
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	6	9	7,4	1,20	9	\$3.075,81	
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	12	4	8,0	1,20	10	\$3.331,20	
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	12	10	11,0	1,20	13	\$4.580,40	
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	4	3	3,5	1,20	4	\$1.457,40	
BARCO 3	MOTOR PINCIPAL EMD	9	9	9,0	1,20	11	\$3.747,60	\$14.528,66
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	3	2	2,5	1,20	3	\$1.041,00	
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	7	2	4,5	1,20	5	\$1.874,73	
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	6	8	7,0	1,20	8	\$2.914,80	
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	11	8	9,5	1,20	11	\$3.955,80	
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	2	3	2,4	1,20	3	\$994,73	
BARCO 4	MOTOR PINCIPAL EMD	7	0	3,5	1,20	4	\$1.457,40	\$9.344,94
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	6	0	3,0	1,20	4	\$1.249,20	
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	2	7	4,5	1,20	5	\$1.872,87	
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	1	5	2,9	1,20	4	\$1.226,07	
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	3	5	4,0	1,20	5	\$1.665,60	
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	6	3	4,5	1,20	5	\$1.873,80	
BARCO 5	MOTOR PINCIPAL EMD	6	1	3,5	1,20	4	\$1.457,40	\$15.198,60
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	8	8	8,0	1,20	10	\$3.331,20	
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	9	4	6,5	1,20	8	\$2.706,60	
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	9	7	8,0	1,20	10	\$3.331,20	
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	6	9	7,5	1,20	9	\$3.123,00	
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	3	3	3,0	1,20	4	\$1.249,20	
BARCO 6	MOTOR PINCIPAL EMD	8	0	4,0	1,20	5	\$1.665,60	\$13.116,60
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	9	0	4,5	1,20	5	\$1.873,80	
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	5	10	7,5	1,20	9	\$3.123,00	
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	3	7	5,0	1,20	6	\$2.082,00	
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	7	4	5,5	1,20	7	\$2.290,20	
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	6	4	5,0	1,20	6	\$2.082,00	
MOTOR PINCIPAL EMD	8	0	4,0	1,20	5	\$1.665,60		

Cuadro 18. Resumen paros barco 7 a 10.

BARCO 7	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	9	0	4,5	1,20	5	\$1.873,80	40,8	\$14.157,60
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	3	7	5,0	1,20	6	\$2.082,00		
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	7	9	8,0	1,20	10	\$3.331,20		
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	1	7	4,0	1,20	5	\$1.665,60		
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	9	8	8,5	1,20	10	\$3.539,40		
BARCO 8	MOTOR PINCIPAL EMD	6	0	3,0	1,20	4	\$1.249,20	30,8	\$10.618,20
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	4	0	2,0	1,20	2	\$832,80		
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	7	6	6,5	1,20	8	\$2.708,60		
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	3	8	5,5	1,20	7	\$2.290,20		
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	3	2	2,5	1,20	3	\$1.041,00		
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	3	9	6,0	1,20	7	\$2.498,40		
BARCO 9	MOTOR PINCIPAL EMD	0	4	2,0	1,20	2	\$832,80	33,6	\$11.659,20
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	0	4	2,0	1,20	2	\$832,80		
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	8	5	6,5	1,20	8	\$2.708,60		
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	5	8	6,5	1,20	8	\$2.708,60		
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	7	4	5,5	1,20	7	\$2.290,20		
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	7	4	5,5	1,20	7	\$2.290,20		
BARCO 10	MOTOR PINCIPAL EMD	0	4	2,0	1,20	2	\$832,80	37,8	\$13.116,60
	CAJA REDUCTORA MOTOR PRINCIPAL	0	6	3,0	1,20	4	\$1.249,20		
	MOTOR AUXILIAR BR CAT SERIE 34	5	9	7,0	1,20	8	\$2.914,80		
	MOTOR AUXILIAR ER CAT SERIE 34	7	9	8,0	1,20	10	\$3.331,20		
	MOTOR AUXILIAR CNTR CAT SERIE 34	9	5	7,0	1,20	8	\$2.914,80		
	MOTOR HIDRAULICO CAT SERIE 34	2	7	4,5	1,20	5	\$1.873,80		

6.3 OBJETIVOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El objetivo del plan de mantenimiento predictivo es bajar en un 50% las horas de paro por averías durante el primer año. El cuadro 19 muestra los ahorros que se pueden lograr evitando pérdidas de producción con una disminución del 50% en las horas de paro por averías.

Cuadro 19. Objetivos

TIEMPO AVERIAS Y REPARACIONES MECANICAS

	PROMEDIO 2007 Y 2008 HRS AVERIAS/AÑO	OBJETIVO HORAS AVERIAS PARA 2009 REDUCCIÓN DE 50%	OBJETIVOS PERDIDAS POR REDUCCIÓN DE 50%
BARCOS ATUNEROS SEATECH MARGEN DE CONTRIBUCION POR TONELADA (USD) \$347			
BARCO 1	28,9	14,5	\$6.017
BARCO 2	33,4	16,7	\$6.954
BARCO 3	29,7	14,9	\$6.184
BARCO 4	19,1	9,6	\$3.377
BARCO 5	31,0	15,5	\$6.454
BARCO 6	26,8	13,4	\$5.580
BARCO 7	28,9	14,5	\$6.017
BARCO 8	21,7	10,9	\$4.518
BARCO 9	23,8	11,9	\$4.955
BARCO 10	26,8	13,4	\$5.580
TOTAL HORAS DE PARO BARCOS	270	135	\$56.235

6.4 INVERSIONES HERRAMIENTAS

El cuadro 20 muestra las inversiones en herramientas que debe realizar la organización de mantenimiento.

Cuadro 20. Inversiones herramientas

INVERSIONES HERRAMIENTAS PRIMER AÑO				
Descripción	Referencia	Cant.	Valor unitario USD	Total USD
VIBRATION PEN Plus, METRIC	SKF- CMVP 50-EN	2	\$1.300,00	\$2.600,00
Pistola temperatura	SKF-CMSS 2000-SL	1	\$650,00	\$650,00
Alquiler por mes con 40 horas de trabajo a la semana, MICORLOG, Color, CMVA65, SPANISH	SKF - CMVA 65-SP-K	12	\$440,00	\$5.280,00
TOTAL PROYECTO PRIMER AÑO				\$8.530,00

6.5 RECURSO HUMANO

El cuadro 21 muestra el valor del recurso humano necesario para desarrollar el proyecto.

Cuadro 21. Valor recurso humano

VALOR RECURSO HUMANO							
Designación	Valor Ingeniería	Parafiscales	Total Valor Ingeniería Mes	Total Meses	Total Año	USD/AÑO	Descripción
INGENIERIA							
1 Ingeniero de predictivo	\$ 3.750.000	1,60	\$ 6.000.000	12,0	\$ 72.000.000	\$ 31.196	Certificado
Soporte externo	\$ 3.750.000	1,60	\$ 6.000.000	3,0	\$ 18.000.000	\$ 7.799	1 Semana/Mes
Entrenamiento	\$ 500.000	1,00	\$ 500.000	6,0	\$ 3.000.000	\$ 1.300	Bimensual
Sub TOTAL			\$93.000.000,00			\$40.294,63	
Administracion	10,0%		\$9.300.000,00			\$4.029,46	
TOTAL			\$102.300.000,00			\$44.324,09	

6.6 BENEFICIOS ESPERADOS DEL PROYECTO

El cuadro 22 muestra los beneficios esperados por la implementación del programa de mantenimiento predictivo, se tienen en cuenta ahorros por evitar pérdidas de producción y ahorros asociados a consumo de repuestos y mano de obra.

Cuadro 22. Beneficios esperados del proyecto

INVERSIÓN HERRAMIENTAS	\$8.530
INVERSIÓN RECURSO HUMANO	\$44.324
TOTAL INVERSIONES EN PROYECTO	\$52.854
OBJETIVOS DISMINUCIÓN HORAS DE PARO POR AVERIAS EN EL 2009	50%
HORAS DE PARO QUE SE ESPERA AHORRAR EN EL 2009	135
AHORROS ESPERADOS POR PRODUCCIÓN EN EL 2009	\$56.214
AHORROS ESPERADOS POR REPUESTOS Y HORAS HOMBRE EN EL 2009	\$20.000
TOTAL AHORROS ESPERADOS POR EL PROYECTO EN EL 2009	\$76.214
TOTAL AHORROS ESPERADOS POR EL PROYECTO EN EL 2009	\$76.214
TOTAL INVERSIONES EN PROYECTO	\$52.854
BENEFICIOS ESPERADOS DEL PROYECTO EN EL PRIMER AÑO	\$23.360

6.7 TASA INTERNA DE RETORNO DEL PROYECTO

El cuadro 23 muestra los egresos y los ingresos esperados en la organización por la implementación del programa de mantenimiento predictivo. Se calcula la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto y se compara con la tasa libre de riesgo. La TIR está 1,24 puntos por encima de la tasa libre de riesgo, por lo tanto el proyecto sería viable financieramente.

Cuadro 23. Tasa interna de retorno del proyecto

MES	R.H.	HERRAMIENTAS	AHORROS	TOTAL
Enero	\$3.694,00	\$3.690,00	\$0,00	-\$3.690,00
Febrero	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Marzo	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Abril	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Mayo	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Junio	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Julio	\$3.694,00	\$440,00	\$30.000,00	\$25.866,00
Agosto	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Septiembre	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Octubre	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Noviembre	\$3.694,00	\$440,00	\$0,00	-\$4.134,00
Diciembre	\$3.694,00	\$440,00	\$46.214,00	\$42.080,00

TIR	12,24%
TASA LIBRE DE RIESGO	11,00%

7. CONCLUSIONES

- La organización de mantenimiento de la Flota Seatech Internacional Inc. Se encuentra dentro de un nivel consciente bajo, de acuerdo a evaluación cuantitativa con la matriz de la excelencia del mantenimiento.
- El estudio de criticidad realizado a los equipos de los barcos de la Flota Seatech Internacional Inc, nos muestra que para mejorar los indicadores de mantenimiento debemos concentrar los recursos en el 11,4 % de los activos críticos.
- Las tecnologías predictivas que aplican para controlar algunos de los modos de falla de los equipos críticos de los barcos de la Flota Seatech Internacional Inc. son el análisis de vibraciones, el análisis de aceite y el monitoreo de la temperatura.
- Debido a las condiciones de operación de los barcos lo recomendado es contratar con proveedores externos el predictivo por vibraciones mecánicas y el predictivo por análisis de aceite. Lo correspondiente al monitoreo de temperatura debe realizarse con personal propio de cada barco.
- Con los ahorros esperados en producción y gastos de reparación, por una disminución del 50% del tiempo de paro por las fallas presentadas en los equipos críticos de los Barcos de la Flota Seatech Internatioanl Inc , se puede cubrir la inversión en el programa de mantenimiento predictivo y esperar una TIR del 12,24 %, lo cual hace el proyecto financieramente viable frente a una tasa libre de riesgo del 11%.

8. BIBLIOGRAFIA

8.1 NORMAS

ISO 10816 Mechanical Vibration.- Evaluation of machina by measurement on non-rotating parts.

VDI 2063: Measurement and evaluation of mechanical vibrations of reciprocating piston engies piston compressors.

ISO 8579: Acceptance code for gears – Determination of mechanical vibration of gears units during acceptance testing.

8.2 LIBROS

ESHLEMAN, Ronald L. Vibraciones Básicas de Maquinas. Claredon Hills, Illinois, Mayo 1999. Teresa Condado Vega.

BERRY, James E. Mantenimiento Predictivo y Análisis de Señal de Identificación de Vibración. Columbus, Ohio, IRD Mechanalysis, Inc. 1993

MOUBRAY, John, Mantenimiento Centrado En Confiabilidad. Segunda edición, North Carolina, Aladon LLC, 2004.

8.3 PUBLICACIONES

URIBE, John, Mantenimiento Predictivo Termografía. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Octubre 1997.

AGUILAR, German. Mantenimiento Predictivo Vibraciones Mecánicas. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander; 2008

ALBARRACÍN, Pedro. Mantenimiento Predictivo Análisis de Aceites. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2008.

8.4 INTERNET

JOHANSSON David L H, HOLMBERG Staffan, RIDDERSTRALE Jenny, SKF Marine Segment, Gotemburgo, Suecia.(Articulo de Internet).
www.evolution.skf.com

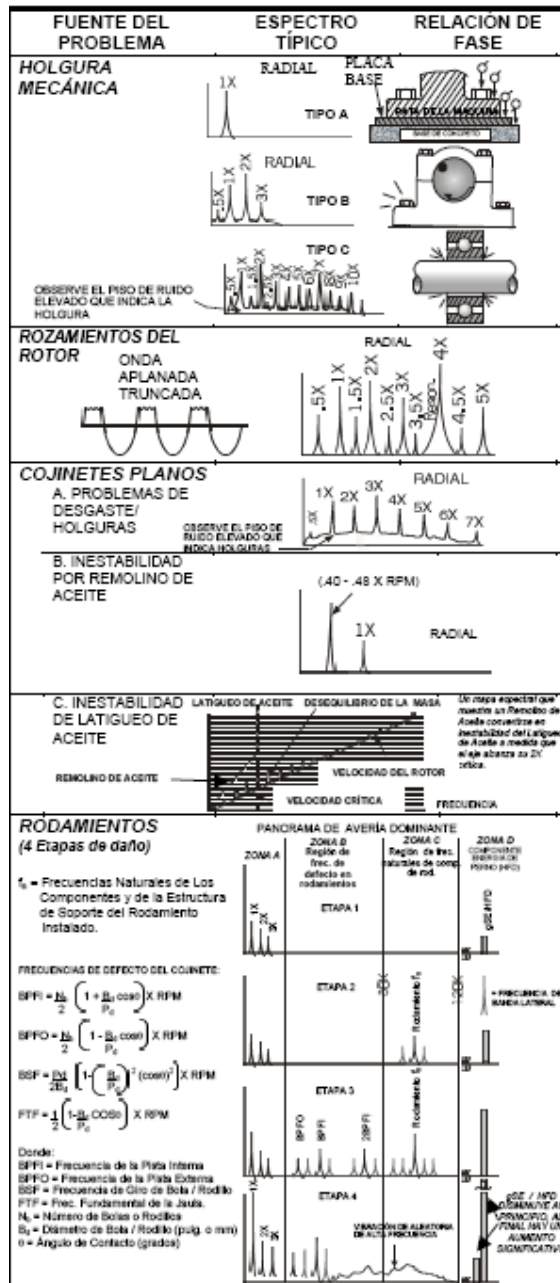
8.5 CURSOS

Thermography Level Course Manual, Publ No 1 560 093 E_ES, Rev 1.1 2006-01-01.

ANEXO

FUENTE DEL PROBLEMA	ESPECTRO TÍPICO	RELACIÓN DE FASE
DESEQUILIBRIO DE MASA	1X RADIAL	
A. DESEQUILIBRIO ESTÁTICO		
B. DESEQUILIBRIO TIPO PAR	1X RADIAL	
C. DESEQUILIBRIO DINÁMICO	1X RADIAL	
D. DESEQUILIBRIO DE ROTORES EN CANTILIBRE	1X AXIAL & RADIAL	
ROTOR EXCÉNTRICO	1X ABANICO 1X MOTOR RADIAL	
EJES FLEXIONADOS	1X AXIAL 2X	
DESALINEACIÓN		
A. DESALINEACIÓN ANGULAR	1X AXIAL 2X 3X	
B. DESALINEACIÓN PARALELA	1X 2X RADIAL 3X	
C. RODAMIENTO DESALINEADO INCLINADO EN EL EJE	1X 2X AXIAL 3X	FASE 1 2:00 2 5:00 3 8:00 4 11:00
RESONANCIA		

A



ANEXO B

Tabla de clasificación de fallas eléctricas según NETA (INTERNATIONAL ELECTRIC TESTING ASSOCIATION)			
Nivel	TEMP MEDIDA	Calificación	Acción
1	De 1°C a 10°C O/A ó De 1°C a 3°C O/S	Possible deficiencia	Se requiere más información
2	De 11°C a 20°C O/A ó De 4°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	Reparar en la próxima parada disponible
3	De 21°C a 40°C O/A ó >15°C O/S	Deficiencia	Reparar tan pronto como sea posible
4	>40°C O/A ó >15°C O/S	Deficiencia Mayor	REPARAR INMEDIATAMENTE!

ANEXO C

Contenido de Metales

Contenidos máximos permisibles en ppm por marca de motor

	CAT	CUMMINS	MACK	DEUTZ	DETROIT
Sílice	25	20	25	25	20
Hierro	100	80	190	140	125
Aluminio	20	20	20	20	15
Cobre	35	45	50	20	20
Plomo	30	25	30	30	20
Cromo	15	15	20	15	15
Estaño	15	15	15	15	15
Plata	0	0	0	0	0
Zinc	0	0	0	0	0

ExonMobil
Lubricants & Specialties

ANEXO D

TABLA 1

Clase del Sistema de Aislamiento	A	B	F	H
Clasificación de Temperatura	105°C	130°C	155°C	180°C
Margen para Incremento de Temperatura por Resistencia (Basado en Temperatura Ambiente de 40° C)				
Todos los Motores con Factor de Servicio de 1.15	70	90	115	-
(Margen para Punto Caliente)	*	*	*	
Motores Totalmente Cerrados Enfriados por Ventilador	60	80	105	125
(Margen para Punto Caliente)	(5)	(10)	(10)	(15)
Motores Totalmente Cerrados Sin Ventilación	65	85	110	135
(Margen para Punto Caliente)	(0)	(5)	(5)	(5)
Motores diferentes a los listados arriba	60	80	105	125
(Margen para Punto Caliente)	(5)	(10)	(10)	(15)

* Cuando se opera con la carga a nivel del factor de servicio, las temperaturas en el punto caliente pueden realmente exceder la capacidad térmica del aislamiento, reduciendo la vida útil del motor.

ANEXO E

CINCO PASOS DEL PROCESO RCA ESCALERA AL EXITO

