

IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS MOTORES
CAT 3600, DEL OLEODUCTO CENTRAL S.A

JULIO ALEXANDER CORDOBA FONSECA
ARMANDO ANTONIO YEPES MALDONADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2016

IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS MOTORES
CAT 3600, DEL OLEODUCTO CENTRAL S.A

JULIO ALEXANDER CORDOBA FONSECA
ARMANDO ANTONIO YEPES MALDONADO

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

Director

Alberto David Pertuz Comas

Ing. Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2016

DEDICATORIA

A mi familia, esposa e hija Maria Paulina, que son mi motor de vida.

Julio Alexander

Simplemente, a Khelly

Armando Antonio

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos:

Ingeniero Alberto Pertuz Comas por su compromiso y apoyo en el desarrollo de esta monografía.

Al grupo de colaboradores de la estación El Porvenir de OCENSA, en monterrey – Casanare, por el espacio brindado e información suministrada para el desarrollo de este trabajo de orden académico.

De igual manera se extienden estos al grupo de docentes que participaron en programa académico de la especialización, los cuales desde su área en particular brindaron ideas y valiosos aportes para lograr a cabo este trabajo.

Finalmente agradecer al personal administrativo tanto de ASEDUIS, como de la UIS por el apoyo prestado y su oportuna atención en los momentos en que se requirieron.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	13
1. PRESENTACION DEL PROBLEMA	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.2.1 Objetivo general.....	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 MARCO TEORICO	17
2. DESARROLLO METODOLÓGICO.....	25
2.1 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA (CASO DE ESTUDIO).....	26
2.1.1 Selección del sistema y recopilación de la información	26
2.1.2 Definición de fronteras.....	30
2.1.3 Descripción del sistema y diagrama funcional.....	31
2.1.4 Funciones del sistema y fallas funcionales.....	35
2.1.5 Análisis de modos de fallas y efectos (FMEA).....	35
2.1.6 Análisis de árbol lógico (LTA)	36
2.1.7 Selección de tareas	36
2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS	38
3. CONCLUSIONES	44
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	47

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de flujo de metodología básica del RCM.....	25
Figura 2. Esquema de configuración básica de una bomba principal BPC.....	27
Figura 3. Características técnicas y de operación del motor de combustión interna	28
Figura 4. Características técnicas y de operación del incrementador de velocidad.	28
Figura 5. Características técnicas y de operación de la bomba multietapas.	28
Figura 6. Relación porcentual de total de fallas y Malos actores	30
Figura 7. Diagrama funcional del motor CAT3612.....	32
Figura 8. Árbol Lógico o Diagrama de Decisión RCM-II	37
Figura 9. Distribución de tareas proactiva.....	38
Figura 10. Gráfico de datos de malos actores, versus tiempo promedio de fallas y costos de reposición en motores CAT 3612, estación El Porvenir.....	39
Figura 11. Pantallazo estado actual stock de bomba de agua.....	41
Figura 12. Pantallazo estado actual stock de RTD.	42
Figura 13. Pantallazo estado actual stock de Inyectores.	42
Figura 14. Pantallazo estado actual stock de Turbocargadores.	43

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Taxonomía de las bombas principales de la estación El Porvenir	27
Tabla 2. Intervenciones de tipo correctivo realizadas a las BPC de la estación El Porvenir en el en periodo de Enero 2015 – Septiembre 2016.	29
Tabla 3. Información general y características técnicas de los motores CAT 3612, y 4 de sus 5 subsistemas principales (excepto Monitoreo y Control).....	33
Tabla 4. Características técnicas del subsistema de Monitoreo y Control en los motores CAT 3612. (Complemento tabla anterior).	34
Tabla 5. Datos de malos actores, versus tiempos promedio entre fallas y costos de reposición en motores CAT 3612 a corte de Septiembre 2016.	40
Tabla 6. Cantidad promedio mes de elementos a reponer por falla.....	41
Tabla 7. Propuesta para Stock de materiales Estación El Porvenir	43

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A Planes de Mantenimiento propuestos para los motores CAT 3612.....	47
Anexo B Hojas de información desarrolladas para los motores CAT 3612.....	56
Anexo C Hojas de Decisión desarrolladas para los motores CAT 3612	76

RESUMEN

TITULO: IMPLEMENTACION DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS MOTORES CAT 3600, DEL OLEODUCTO CENTRAL S.A. *

AUTORES: JULIO ALEXANDER CORDOBA FONSECA y ARMANDO ANTONIO YEPES MALDONADO **

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, *RCM*, Motores Diésel, Análisis de Modo y Efecto de la Falla, *FMEA*.

DESCRIPCION:

Este trabajo de monografía desarrolla un modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad – *RCM* aplicado a los motores diésel serie CAT 3612, empleados para impulsar las unidades de bombeo de crudo en la estación El porvenir del Oleoducto Central S.A. – OCENSA. Estas unidades de potencia tienen más de 20 años de operación y a lo largo de este periodo han sido modificadas en varias oportunidades para aprovechar condiciones operacionales favorables y otras de tipo costo-beneficio, tal como resulta en la actualidad.

La metodología *RCM-II* establece el desarrollo de actividades de forma sistemática, cuyo propósito es llegar a determinar una serie de tareas que permitan asegurar que el equipo analizado pueda continuar haciendo lo que el usuario quiere que haga en su contexto operacional actual. Para el caso de estudio en particular el análisis del motor se realiza a un nivel intermedio, es decir hasta los subsistemas principales, de tal forma de poder definir de manera mucho más efectiva y fácil las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de las mismas en cada conjunto objeto de análisis, y consecuentemente poder proponer acciones factibles para evitar o minimizar dichas fallas.

Finalmente como resultado se proponen unos planes de mantenimiento con un listado de tareas a realizar por personal especializado y con una frecuencia específica, en donde la prioridad está en conservar componentes críticos y eliminar los malos actores.

* Monografía de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánica – Especialización en Gerencia de Mantenimiento – Director: Ing. Alberto Pertuz.

ABSTRACT

TITLE: IMPLEMENTATION OF A MAINTENANCE PROGRAM FOR CAT 3600 ENGINES IN OLEODUCTO CENTRAL S.A.

AUTHORS: JULIO ALEXANDER CORDOBA FONSECA & ARMANDO ANTONIO YEPES MALDONADO

KEYWORDS: Reliability-centred maintenance, RCM, Diesel engines, Failure mode and effects analysis, FMEA

DESCRIPTION:

This paper develops a model of reliability-centered maintenance - RCM applied to diesel engines CAT 3612 series, used to boost oil pumping units at the station El Porvenir of Oleoducto Central S.A – OCENSA, these power units has over 20 years of operation and over this period have been amended several opportunities to take advantage of favorable operating conditions and other cost-benefit type, as is currently.

The RCM-II methodology establishes development activities systematically, whose purpose is to determine a number of tasks that possible to ensure that the equipment used can continue doing what the user wants it to do in its present operating context. For this particular case of study the engine analysis will be at an intermediate level, that is to say to its major subsystems, so you can define much more effectively and easily functions, functional failures, failure modes and effects, and consequently to propose feasible actions to avoid or minimize such failures.

Finally as a result maintenance plans are proposed with a list of tasks to be performed by qualified personnel and with a specific frequency, where the priority is to preserve critical components and eliminate bad actors.

INTRODUCCION

El mantenimiento de equipos rotativos en la industria de hidrocarburos en Colombia se ejecuta bajo las diferentes estrategias y tácticas, cuando la empresa cuenta con los recursos mínimos suficientes y necesarios, ceñido a una política integral de gestión de este tipo de actividades. Este trabajo pretende mejorar el plan de mantenimiento de los motores Caterpillar 3600 del Oleoducto Central S.A, en la estación El Porvenir, debido a que a lo largo del desarrollo de su actividad productiva los motores en mención han sido sujeto de diferentes modificaciones en cuando a sus condiciones de su operación, e incluso saliéndose de los parámetros originales o preestablecidos de su condiciones original de diseño en fábrica. Para del propósito de este proyecto es establecer un plan de mantenimiento actualizado con las variables operacionales y de funcionamiento actual para generar una mayor confiabilidad en estos activos de esta organización transportadora de hidrocarburos.

Se medirán parámetros de CMD y se empleará la técnica del RCM-II para mejorar la confiabilidad en estos motores, debido a que con esta y la información de registros de falla que se tienen documentados se podrán establecer mejores planes de mantenimiento tomando como base la norma ISO 14224, realizando un análisis, de los modos de falla y los tiempos en los que ocurren estas.

El resultado final será un plan aterrizado a las actuales variables de funcionamiento y de operación, teniendo como pilar el RCM.

1. PRESENTACION DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Oleoducto Central S.A (OCENSA), tiene en sus activos críticos 10 unidades de motores de combustión interna de marca Caterpillar de la serie 3600, específicamente motores CAT 3612 de 4500 HP cada uno, estos motores tienen 20 años de vida en operación, los cuales en ese intervalo de tiempo iniciaron su funcionamiento con combustible Diesel, pasado un tiempo y con el auge de producción y calidad del crudo en el campo petrolero Cusiana, ubicado en Tauramena - Casanare, se decidió cambiar el combustible y poner a funcionar esos motores con crudo Cusiana de una calidad de 47 grados API.

A mediados del año 2012, con el decaimiento de producción del campo petrolero, OCENSA se vio en la necesidad de cambiar nuevamente el crudo combustible de estos motores, por lo que se pasó a funcionar con crudo-mezcla y crudos pesados con una calidad promedio de 28 y 18 grados API respectivamente.

Estos motores CAT 3612, para poder funcionar con estas mezclas de combustible tuvieron que ser actualizados en algunos componentes, tales como son los ejes de levas, culatas HFO, turbocargadores HFO, inyectores HFO, entre otros (HFO sigla en inglés que significa *Heavy Fuel Oil* - Combustible de aceites pesados). Esta actualización fue conciliada y recomendada por el fabricante Caterpillar, en adición a esta última, OCENSA optó por agregar gas combustible a la admisión estos motores en una proporción para que funcionen al tiempo con la mezcla crudo combustible. Generando con esto último reducción en el consumo de crudo combustible y obviamente en los costos operacionales.

Esta nueva condición de operación de los motores, al tener que utilizar la mezcla gas y crudo-mezcla para su proceso de combustión ha acelerado el deterioro de componentes, ha aumentado la vibración en las máquinas, lo cual ha generado un mayor número de intervenciones correctivas, de igual forma se ha generado un incremento en las rutinas de mantenimientos preventivo, entre otros y no limitado a que los aceites lubricantes se degradan de manera más rápida.

Por esto, aunque se realizan rutinas de mantenimiento de orden preventivo y predictivo, estas actividades no se ajustan a las nuevas condiciones de funcionamiento de estos motores, y de igual forma tampoco a las variables operativas actuales. Los registros que se tienen de las fallas y los tiempos de estas, los datos que son objeto de estudio se tomaron del programa de mantenimiento del SAP modo productivo, para con ellos realizar un análisis CMD y poder ajustar las rutinas de mantenimiento con el RCM.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

- Implementar un plan de mantenimiento RCM para los motores CAT 3600 del Oleoducto Central de la estación el Porvenir.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis de criticidad a los componentes de los motores CAT 3600 de OCENSA.
- Identificar las funciones, los modos de fallas y las frecuencias de falla de los componentes críticos de los motores CAT 3600 de OCENSA.
- Actualizar las hojas de ruta del mantenimiento preventivo.
- Gestionar un stock de materiales básico para atender las fallas críticas detectadas, para atender la ruta de mantenimiento establecido.
- Implementar un programa de mantenimiento RCM.

1.3 MARCO TEORICO

Por muchos años el mantenimiento fue un oficio aprendido o dominado a través de la experiencia y rara vez era evaluado de forma analítica [7], a medida que los equipos, sistemas, etc. se hacían más complejos, los costos de mantención de los mismos también se incrementaba, por lo que las prácticas de mantenimiento tradiciones hasta ese entonces ya no eran efectivas.

El mantenimiento es el sustantivo correspondiente del verbo mantener, en cuyo caso su función concreta es sostener la funcionalidad y el cuerpo de un objeto o aparato productivo para que cumpla su función de producir bienes o servicios [5]. Otros autores como John Moubray lo definen como: “Mantenimiento: Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga” [6]. Anotando que para que esto sea posible, el activo debe ser capaz de cumplir esas funciones previstas, ya que el mantenimiento por si solo solamente puede entregar la capacidad incorporada (confiabilidad inherente), mas no puede aumentarla [8].

Se podría decir que la misión principal de mantenimiento es garantizar que el parque industrial esté con la máxima disponibilidad cuando lo requiera el usuario, con la máxima confiabilidad y fiabilidad durante el tiempo solicitado para operar, con las velocidades requeridas, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigidas previamente por el demandante, para producir bienes o servicios que satisfagan sus necesidades, deseos o requerimientos. Con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno al menor coste [5].

Dentro de las diversas formas de organizar y administrar el mantenimiento de forma lógica y sistemática, se destaca una táctica en particular conocida como **RCM** - Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, cuyo término *RCM* se refiere a un plan de mantenimiento programado y diseñado para proporcionar la confiabilidad inherente de los equipos [7]. El *RCM* se enfocó inicialmente en la

industria de aerolíneas comerciales en los Estados Unidos, pero fue encontrando aplicaciones en otros campos como el militar, plantas nucleares, industrial de graneles, minería de carbón, etc. [3].

John Moubray complementó la definición de la táctica condicionando a que la función del activo depende de cómo y dónde se utilice, por lo que define al mantenimiento centrado en confiabilidad así: RCM: Reliability-Centered Maintenance: Es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual. [6]

Varias son las ventajas y beneficios que trae consigo la implementación del *RCM*, no solo a la gestión de mantenimiento sino también a las organizaciones:

- Optimiza la confiabilidad operacional, maximiza la disponibilidad y/o mejora la mantenibilidad de las plantas y sus activos.
- Logra importantes reducciones en los costos de mantenimiento.
- Fomenta el trabajo en equipo, crea un espíritu altamente crítico frente a condiciones de falla y averías, e involucra a todo el personal que tiene que ver con la gestión de mantenimiento en la organización.
- Establece un sistema eficiente de mantenimiento preventivo, el cual optimiza la aplicación de actividades en función de su criticidad e importancia, y así mismo las integra a su contexto operacional.
- Incrementa la seguridad operacional y la protección ambiental, por lo que el personal aumenta su conocimiento de los procesos operacionales y sus efectos sobre la integridad de las instalaciones.

De igual manera las limitaciones del *RCM* radican más que todo en el factor humano con que cuenta la organización, ya que de éste depende el éxito de la metodología [5].

Gracias al aporte investigativo, trabajo en conjunto y al desarrollo de nuevos conocimientos llevados a cabo por Stanley Nowlan, Howard Head y John Moubray producto del incremento en número y variedad, complejidad de activos físicos, sumado a los cambios organizacionales y de responsabilidad en el mantenimiento de las industrias [9], surge el RCM-II.

El objeto del RCM-II radica en mitigar las consecuencias en vez de prevenir la falla y se base en siete preguntas básicas [9]. Previamente se debe conocer u explorar la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen, se necesita saber qué tipo de elementos físicos existentes en la empresa y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión por el *RCM*. Esta táctica plantea una serie de preguntas acerca de cada uno de los elementos seleccionados, así [6]:

1. ¿Cuáles son las funciones y las variables de desempeño asociadas al presente contexto operacional?
2. ¿De qué forma puede fallar o no cumplir sus funciones?
3. ¿Cuál o cuáles son las causas inmediatas o básicas para que falle?
4. ¿Qué pasa y que impactos genera cada falla funcional?
5. ¿Cuál es la importancia de cada falla?
6. ¿Qué hacer o cómo se puede prevenir cada falla?
7. ¿Qué se debe hacer para controlar la falla, si no hay forma de prevenir o anticiparse a esta?

Funciones y sus estándares de funcionamiento

Cada equipo debe haberse adquirido para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberá tener una función o funciones específicas dentro de la estructura operativa. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

1. La función de los equipos en su contexto operacional.

2. El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de *RCM* comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional. Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el *RCM* pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la producción, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

Las funciones pueden ser divididas en dos categorías [6]:

Funciones Primarias: Razón por la cual fue adquirido el activo físico, y son generalmente fáciles de reconocer. De hecho el nombre de la mayoría de estas se basa en su función primaria (ejemplo: la función primaria de una trituradora es triturar, la función primaria de una bomba es bombear.)

Funciones Secundarias: La cual reconoce que espera de cada activo haga más que simplemente cubrir su función primaria. Aunque estas son menos obvias que las primarias, la pérdida de una función secundaria puede tener serias consecuencias, a veces hasta más serias que la pérdida de la función primaria. Como resultado las funciones secundarias necesitan tanto o más mantenimiento que la funciones primarias.

Fallas Funcionales

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo se hayan definido, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una falla funcional, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

Modos de Falla (Causas de Falla)

El paso siguiente es tratar de identificar los modos de falla que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función o falla funcional. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir. Es importante identificar cuál es la causa básica (origen) de cada falla, esto asegura no malgastar el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, para asegurar que no se malgasta demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

Efectos de las Fallas

El paso cuatro en el proceso de RCM tiene que ver con identificar los efectos de las fallas, que describen lo que ocurre con cada modo de falla [6]. Debe contemplar información como:

- ¿Qué evidencia existe (si la hay) de que la falla ha ocurrido?
- ¿De qué modo representa una amenaza para la seguridad o medioambiente (si la representa)?
- ¿De qué manera afecta a la producción o a las operaciones?
- ¿Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla?
- ¿Qué debe hacerse para reparar la falla?

El ejercicio de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades de mejora para el funcionamiento y la seguridad, además y por lo general también mejora los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos y elimina desperdicios. [6]

Consecuencias de las Fallas

Una vez que se hayan determinado las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y cuánto importa cada falla. La

razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

Consecuencias de las fallas no evidentes: Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata los fallas que no son evidentes, primero reconociéndolos como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.

Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente: Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien, o dicha falla tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe un estándar o norma gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. En síntesis pone a las personas por encima de la problemática de la producción.

Consecuencias operacionales: Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto, servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, por lo tanto la factibilidad de cada actividad desarrollada en busca de prevenir la falla, solo se compara con el costo de las consecuencias de la misma en caso que ocurriera.

Consecuencias No-operacionales: Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni la seguridad, ni el medio ambiente, ni a la producción de una determinada empresa, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

El proceso de evaluación de las consecuencias también cambia el énfasis de la idea de que toda falla es negativa y debe ser prevenida [6]. Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Ahora si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que consuma tiempo y recursos. Lo cual lleva a optimizar las actividades.

Tareas de mantenimiento

El anterior brinda una orientación para encontrar la mejor manera de manejar las fallas, más que en concentrarnos en prevenirlas.

Existen dos técnicas para manejo de fallas:

Tareas Proactivas: Actividades que se hacen antes de que ocurra la falla, para prevenir que el activo llegue al estado de falla. El RCM reconoce que las tareas de mantenimiento proactivas debe cumplir dos condiciones: ser aplicables y efectivas. Estas actividades se dividen en tres categorías:

- *Tareas por Reacondicionamiento Cíclico*: Los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento.
- *Tareas por Sustitución Cíclica*: Los equipos son revisados o sus componentes sustituidos a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento.
- *Tareas por Condición*: Medición de algunos parámetros con valores preestablecidos para correlacionar o advertir alguna condición de falla o falla que esté próxima a ocurrir.

Acciones a Falta de: Actividades que tratan directamente con el estado de falla, y se determinan cuando no existe una tarea proactiva efectiva.

- *Tareas de Busca Fallas:* Revisión periódica para descubrir una falla oculta antes de tener algún requerimiento operacional.
- *Tareas de Correr a Falla:* Una opción deliberada de permitir que algún equipo opere hasta que presente la falla. Normalmente esta decisión se toma con argumentos técnico-económicos bien definidos.
- *Rediseño:* Hacer cambios de una vez a las capacidades iniciales de un sistema o en sus procedimientos.

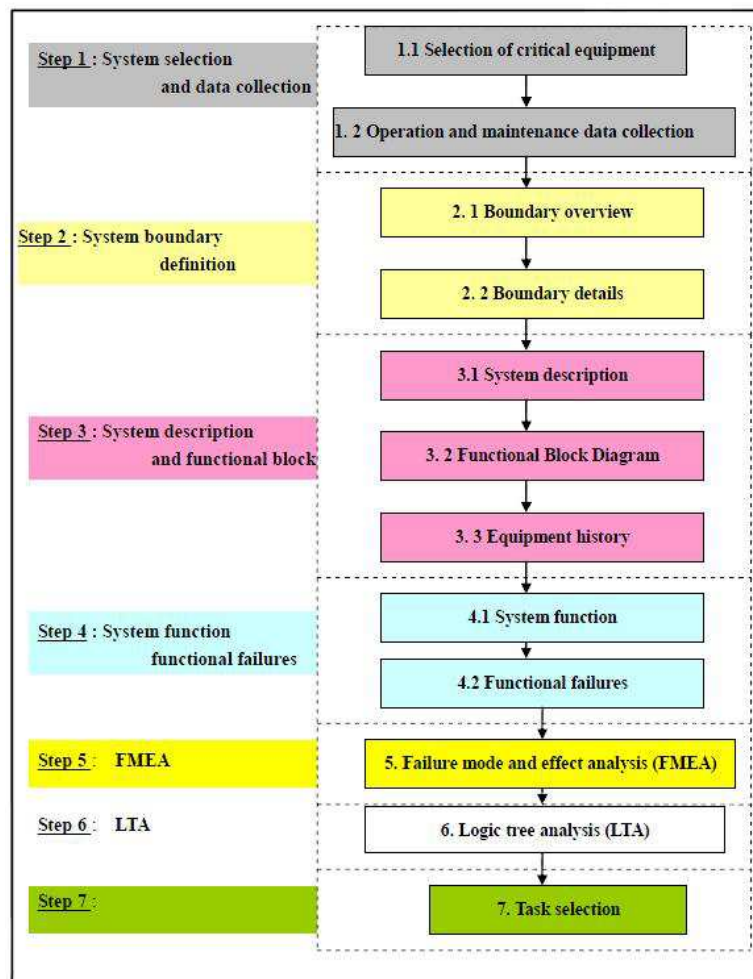
La efectividad de una solución en particular de mantenimiento solo puede ser evaluada en términos de las consecuencias de seguridad o económicas que intenta prevenir [7].

2. DESARROLLO METODOLÓGICO

La metodología a usar en el presente trabajo de monografía sería el *RCM-II*, el cual describe de forma sistemática una serie de actividades que permiten lograr que los activos físicos, sistemas o procesos continúen desarrollando sus actividades que proporcionan valor, sin importar lo que los usuarios quieran hacer.

El *RCM* consta de siete pasos básicos:

Figura 1. Diagrama de flujo de metodología básica del RCM



Fuente: AFEFI, Islam. Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. Scientific Research, 2010; 2:863-873

- Paso 1: Selección del sistema y recolección de la información.
- Paso 2: Definición de fronteras del sistema.
- Paso 3: Descripción del sistema y diagrama funcional.
- Paso 4: Función del sistema y fallas funcionales.
- Paso 5: Análisis de modos de fallas y efectos. (*FMEA*)
- Paso 6: Análisis de árbol lógico. (*LTA*)
- Paso 7: Selección de tareas.

2.1 SOLUCIÓN DEL PROBLEMA (CASO DE ESTUDIO)

2.1.1 Selección del sistema y recopilación de la información

El sistema seleccionado es el punto de partida para la aplicación del *RCM*, esta selección se hace evaluando varios aspectos como tiempos de ejecución y costos de mantenimiento planeados o correctivos, seguridad o medioambiente.

La información se toma del programa *ERP* modulo productivo de la estación El Porvenir de OCENSA, y con esta se podrá obtener parámetros como:

- 1) El tiempo medio entre fallos (*MTBF*).
- 2) El coste total de mantenimiento.
- 3) El tiempo medio de reparación (*MTTR*).
- 4) La disponibilidad.

OCENSA dentro de su estrategia de gestión de activo estableció la taxonomía de los diferentes activos que hacen parte del *Core* del negocio. Dentro de estos activos se encuentran las bombas principales, diez (10) unidades en total, las cuales están constituidas básicamente por un Motor de combustión interna, un Incrementador de velocidad y una Bomba multietapas (Ver Figura 2).

La producción nominal de OCENSA es de 26.000 BPH +/- 2% operando con ocho (8) unidades de bombeo principales y una (1) unidad de bombeo disponible como mínimo, y por lo tanto la restante unidad quedaría en calidad de disponible para operar o para desarrollar trabajos de mantenimiento. La Tabla 1 describe los tres componentes básicos de las bombas principales - BPC.

Tabla 1. Taxonomía de las bombas principales de la estación El Porvenir

ACTIVO		MOTOR		INCREMENTADOR		BOMBA	
TAG	PROCESO	MODELO	SERIE	MODELO	SERIAL	MODELO	SERIE
BPC 42010	Principal	CAT 3612	9RC00134	N2704C	10105	MSD 6 STD	1E785
BPC 42020	Principal	CAT 3612	9RC00135	N2704C	10106	MSD 6 STD	1E786
BPC 42030	Principal	CAT 3612	9RC00173	N2704C	10107	MSD 6 STD	1E787
BPC 42040	Principal	CAT 3612	9RC00219	N2704C	11133	MSD 6 STD	1E788
BPC 42050	Principal	CAT 3612	9RC00212	N2704C	12128	MSD 6 STG	1E562
BPC 42060	Principal	CAT 3612	9RC00214	N2704C	12127	MSD 6 STG	1E553
BPC 42070	Principal	CAT 3612	9RC00216	N2704C	12123	MSD 6 STG	1E555
BPC 42080	Principal	CAT 3612	9RC00218	N2704C	12124	MSD 6 STG	1E556
BPC 42090	Principal	CAT 3612	9RC00127	N2704C	121505	MSD	435009
BPC 42100	Principal	CAT 3612	9RC00133	N2704C	121504	MSD	435008

Las características generales tanto técnicas y como operacionales de cada uno de estos tres componentes básicos de las bombas principales se describen en las figuras 3, 4 y 5.

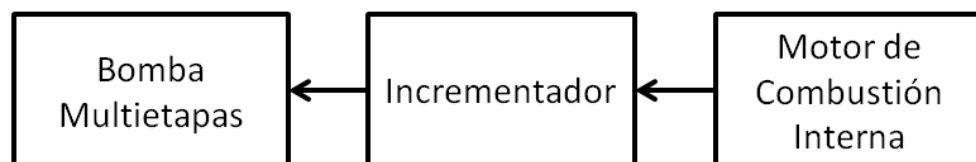


Figura 2. Esquema de configuración básica de una bomba principal BPC.


	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
	Marca	CAT
	Modelo	3612
	Potencia Nominal	3470 - 4616 HP
	Velocidad Nominal	750 - 1000 RPM
	CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES	
	Potencia	4250 HP
	Velocidad	920 RPM
	Temperatura Max.	40°C

Figura 3. Características técnicas y de operación del motor de combustión interna

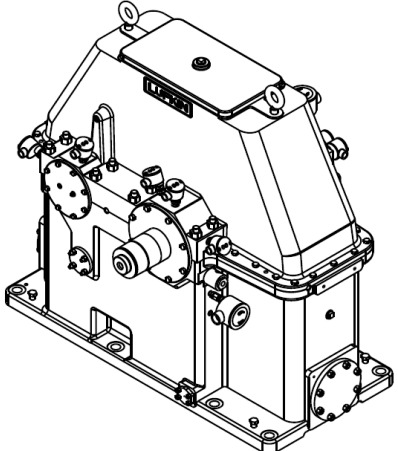
	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
	Marca	LUFKIN
	Modelo	N2704C
	Factor de Servicio	2,11
	Relación (<i>i</i>)	4,021:1
	Rango Velocidad	1000 - 4021 RPM
	CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES	
	Velocidad	3700 RPM
	Rango Temp.	21° - 66°C

Figura 4. Características técnicas y de operación del incrementador de velocidad.

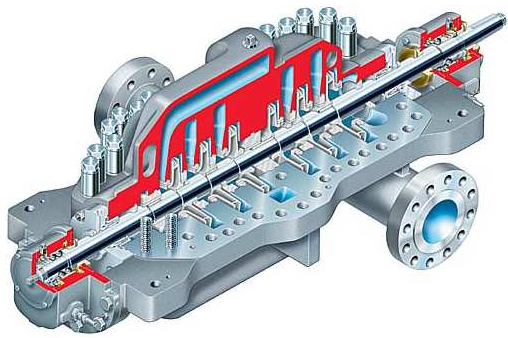
	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
	Marca	SULZER
	Modelo	MSD 6 STD
	Caudal Max.	3226 GPM
	Cabeza Max.	3717 FT
	Velocidad Nominal	3820 RPM
	CARACTERÍSTICAS OPERACIONALES	
	Caudal	2275 GPM
	Velocidad	3700 RPM

Figura 5. Características técnicas y de operación de la bomba multietapas.

Depurando, analizando y clasificando la información extraída del *ERP* de OCENSA en relación a las intervenciones hechas a cada componente básico de las bombas principales, se logra establecer que el componente básico con mayor porcentaje de intervenciones correctivas son los motores de combustión interna (ver Tabla 2) con un porcentaje superior al 84%, por lo tanto el análisis y aplicación del RMC se enfocará en este componente.

Tabla 2. Intervenciones de tipo correctivo realizadas a las BPC de la estación El Porvenir en el periodo de Enero 2015 – Septiembre 2016.

FALLAS EN UNIDADES PRINCIPALES				
UNIDAD	MOTOR	INCREMENTADOR	BOMBA	OTROS
BPC-42010	61	0	3	8
BPC-42020	51	1	10	5
BPC-42030	61	0	3	5
BPC-42040	67	0	10	4
BPC-42050	66	0	7	0
BPC-42060	46	0	3	1
BPC-42070	41	0	3	1
BPC-42080	51	0	7	1
BPC-42090	54	0	2	8
BPC-42100	65	4	11	8
TOTAL	563	5	59	41
PORCENTAJE	84,3%	0,7%	8,8%	6,1%

De forma similar, estas se categorizan por subsistemas y se evalúan las fallas presentadas en el motor, de tal forma de poder establecer una tendencia en particular para tener criterios de prioridad con algunos y encontrar también los malos actores, ver Figura 6.

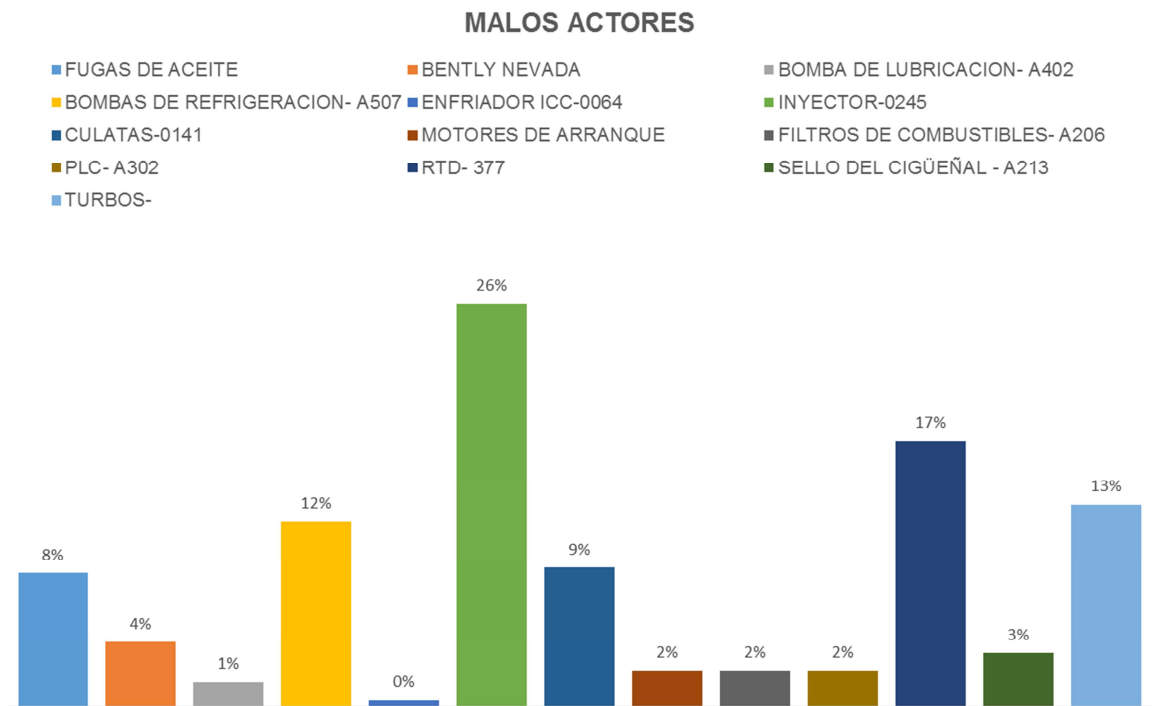


Figura 6. Relación porcentual de total de fallas y Malos actores

Los elementos que se presentan como malos actores son:

- Inyectores.
- RTD's.
- Turbocargadores.
- Bombas de refrigeración.
- Fugas de aceite.

2.1.2 Definición de fronteras

La definición de fronteras es fundamental por dos aspectos. Primero para garantizar que funciones potencialmente importantes no queden excluidas, y

segundo para poder identificar la interacción del sistema con su medio, qué entra y qué sale de este.

De forma integral como un sistema y para objeto de un mejor análisis, se considera que todo el conjunto del motor CAT3612 interactúa con el medio de la siguiente forma, y por lo tanto las fronteras se establecen así:

Interfase de Entrada:

- Mezcla de líquidos para combustión y refrigeración.
- Mezcla de Aire para combustión y refrigeración.
- Energía eléctrica y señales de control.

Interfase de Salida:

- Mezcla de Gases de combustión.
- Mezcla de material sólido, subproducto de combustión.
- Energía mecánica y térmica.
- Energía eléctrica en señales de control.

2.1.3 Descripción del sistema y diagrama funcional

Con la anterior información y ya establecidas las fronteras del sistema en estudio, se construye del diagrama funcional del mismo forma simplificada y sintética. Ver Figura 7.



Figura 7. Diagrama funcional del motor CAT3612


Las tablas 3 y 4 complementan las especificaciones mostradas en la Figura 3 y describe en mayor detalle las características significativas, parámetros de operación y de seguridad de los motores CAT 3612, sus subsistemas principales y accesorios esenciales.

Debido su complejidad y en aras de facilitar el análisis y su estudio se opta por dividir el conjunto motor CAT 3616 en sus subsistemas principales. Los cuales tanto en forma conjunta e independiente serán objetos de aplicación de la metodología de *RCM*, con el propósito de orientar los grupos de trabajo y maximizar el *FMEA* con cada uno de ellos y sus respectivos especialistas en función del subsistema.

Los subsistemas quedan establecidos así:

- Subsistemas:
- Lubricación
 - Refrigeración
 - Admisión y Escape
 - Combustible
 - Monitoreo y Control

Tabla 3. Información general y características técnicas de los motores CAT 3612, y 4 de sus 5 subsistemas principales (excepto Monitoreo y Control).

		INFORMACIÓN GENERAL	
		Marca	CAT
		Serie	MOTOR DIESEL 3600
		Modelo	3612
		Arreglo	12 Cilindros en V
		Cilindraje	18,5 Lts
		Presión en cámara de combustión	2350 PSI (Continuo) 2514 PSI (<i>Prime</i>) 2514 PSI (<i>Standby</i>)
		Peso Neto	26.848 Kg
SUBSISTEMA LUBRICACIÓN		SUBSISTEMA REFRIGERACIÓN	
Presión nominal en Manifold	55 PSI	Temperatura nominal de entrada	194° F
Temperatura nominal en Manifold	185° F	Temperatura máxima de salida	228° F
Capacidad Bomba de Pre lubricación	15 GPM	Presión nominal en entrada	47 PSI
Capacidad Bomba de Lubricación	229 GPM	Volumen total de refrigerante	385 Gal
Δ Presión máximo Unidad de Filtrado	15 PSI	SUBSISTEMA COMBUSTIBLE	
SUBSISTEMA ADMISIÓN Y ESCAPE		Presión nominal en Manifold	75 +/- 15 PSI
Temperatura Máxima entrada aire	104° F	Presión máxima en línea retorno	51 PSI
Presión nominal <i>OUT</i> Postenfriador	20 PSI	Temperatura Máxima entrada	150° F
Δ Presión permisible Unidad de Filtrado	5 - 15 in H ₂ O	Δ Presión máximo en Unidad de Filtrado	10 PSI

Fuente: Dossier equipos OCENSA y ©2014 Caterpillar - *Technical information 3600 Diesel engines.*

Tabla 4. Características técnicas del subsistema de Monitoreo y Control en los motores CAT 3612. (Complemento tabla anterior).

MONITOREO Y CONTROL [ALARMAS Y DISPAROS DE SUBSISTEMAS PRINCIPALES]					
SISTEMA	PARÁMETRO	NOTA	EQUIPO A PROGRAMAR	ALARMA - NUEVO VALOR	
				TIPO DE SEÑAL	VALOR
REFRIGERACIÓN	Alta temperatura de entrada de agua AC OC	Solo indicación	PLC	RTD	140
ADMISIÓN Y ESCAPE	Desviación temperatura de cilindro sobre el promedio (motor con carga)	Parada por <i>Cool Down</i>	DCS	Frecuencia	29000
	Alta temperatura de entrada turbo izquierdo - cilindros 2, 4 y 6	Lee Temp. aire <i>inlet</i> turbo	PLC	Termocupla	1022
	Alta temperatura de entrada turbo izquierdo - cilindros 8, 10 y 12		PLC	Termocupla	1022
	Alta temperatura de entrada turbo derecho - cilindros 1, 3 y 5		PLC	Termocupla	1022
	Alta temperatura de entrada turbo derecho - cilindros 7, 9 y 11		PLC	Termocupla	1022
	Alta velocidad turbo izquierdo		DCS	Frecuencia	29000
	Alta velocidad turbo derecho		DCS	Frecuencia	29000
COMBUSTIBLE	Baja presión de combustible (baja velocidad)		PLC	4 - 20 mA	38
	Baja presión de combustible (alta velocidad)		PLC	4 - 20 mA	60
	Alta presión de combustible		PLC	4 - 20 mA	98
	Baja temperatura de combustible CRUDO	Diferencia entre DIESEL y CRUDO	PLC	RTD	115
	Alta temperatura de combustible DIESEL / CRUDO		PLC	RTD	151 / 167
LUBRICACIÓN	Alta temperatura de entrada de aceite		PLC	RTD	115
	Alta presión diferencial de filtros de aceite		PLC	4 - 20 mA	10 + 15 seg

Fuente: Dossier equipos OCENSA y ©2014 Caterpillar - *Technical information 3600 Diesel engines.*

2.1.4 Funciones del sistema y fallas funcionales

Del mismo modo que en el subcapítulo 2.1.1, la información compilada del software *ERP* de OCENSA, sumado a la información de las hojas de vida de los equipos (Dosieres y fichas técnicas del fabricante), más la interlocución del personal de estación y los grupos de trabajo, servirán para identificar las funciones del sistema, los subsistemas y sus respectivas fallas funcionales.

2.1.5 Análisis de modos de fallas y efectos (FMEA)

De forma conjunta con la definición de las funciones y falla funcionales, se analizan y evalúan los modos de falla y las consecuencias de los mismos en los diferentes escenarios.

En consecuencia con lo anterior se ajusta la metodología establecida y se fusionan los pasos 4 y 5 para mostrar la información en un solo formato (RCM-II Hoja de Información), concomitante el análisis se hace desde un nivel alto (conjunto motor CAT 3612) hasta un nivel intermedio limitado por la división establecida en el subcapítulo 2.1.3.

En el Anexo B se muestran todas las RCM-II Hojas de Información desarrolladas con los grupos de trabajo iniciando por el sistema completo Motor CAT 3612, pasando por los subsistemas de Lubricación, Refrigeración, Admisión y Escape, Combustible y Monitoreo y Control.

2.1.6 Análisis de árbol lógico (LTA)

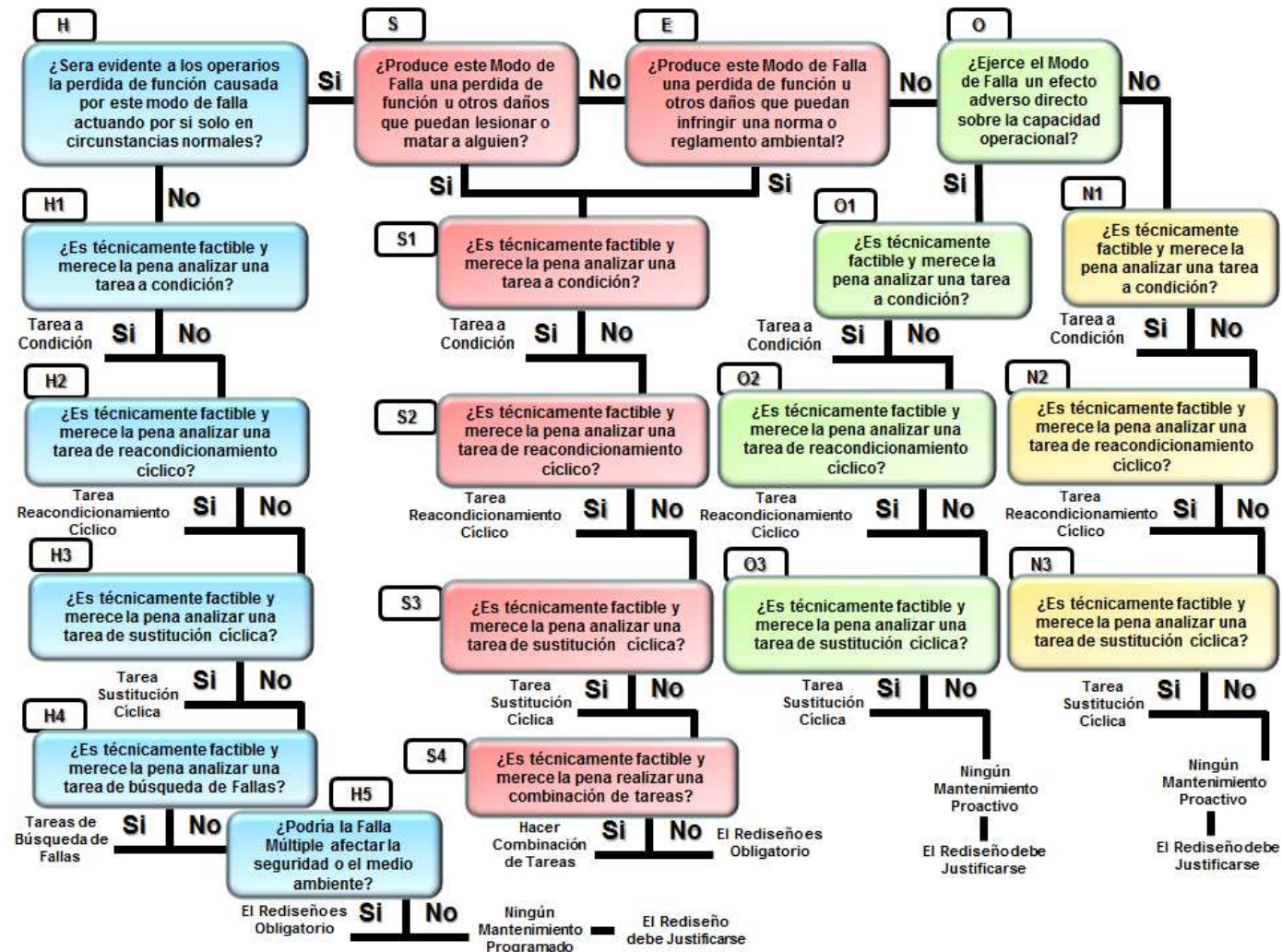
Se estructura un modelo básico de árbol lógico (LTA) o Diagrama de decisión como lo llama el RCM-II haciendo énfasis en las fuentes que desencadena cada falla en lo relativo a: 1) Seguridad, 2) Medio ambiente, 3) Interrupciones del servicio, o 4) Económico, de tal forma que con criterio analítico poder proponer acciones para predecir o prevenir cada falla.

Para ello se emplea el árbol lógico o diagrama de decisión de la Figura 8, en el cual de forma sistemática cada modo de falla se introduce en el cuadro de la parte superior izquierda, donde se plantea la primera pregunta y de forma sucesiva va desarrollando y bajando hasta llegar al nivel correspondiente a la actividad propuesta específica para ese tipo de falla.

2.1.7 Selección de tareas

De forma análoga como se ajustó la metodología para manejar la información de las funciones, fallas funcionales, modos de falla y efectos de las fallas en los subcapítulos anteriores, se determina también fusionar los pasos 6 y 7 para mostrar la información desarrollada en el análisis de árbol lógico y las actividades propuestas en un solo formato (RCM-II Hoja de Decisión).

En el Anexo C se muestran las RCM-II Hojas de Decisión desarrolladas en conjunto con los grupos de trabajo para cada subsistema en particular del Motor CAT 3612, en las cuales se establecen tareas propuestas, intervalos de ejecución inicial y se asigna un ejecutor en función del tipo de actividad a realizar.



Fuente: Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, John Moubray, 1997 Aladon

Figura 8. Árbol Lógico o Diagrama de Decisión RCM-II

2.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez establecidas las tareas proactivas y frecuencias propuestas para intervenir los motores CAT 3612, se reagrupan por especialidad (ocupaciones) y frecuencias para obtener los planes de mantenimiento (ver Anexo A).

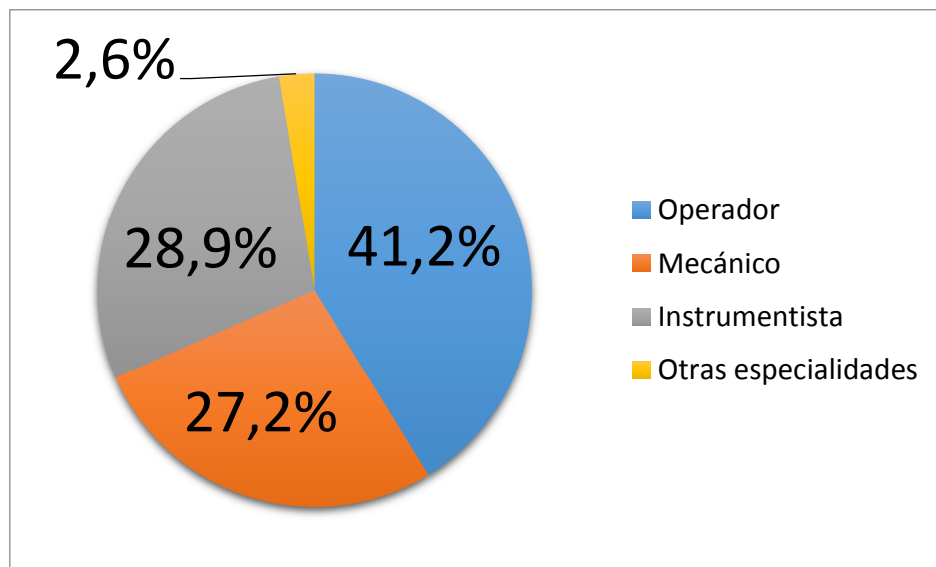


Figura 9. Distribución de tareas proactiva

Uno de los aspectos relevantes respecto a la propuesta de tareas proactivas para el mantenimiento de los motores CAT3612 de la estación El Porvenir de OCENSA es el porcentaje de estas que corresponden al operador del equipo, tal como se puede evidenciar en la Figura 9. Lo cual es beneficioso para la gestión del mantenimiento del equipo, ya que estos colaboradores siempre están cerca del equipo durante el desarrollo de su jornada laboral, constituyéndose así en el elemento de atención primaria para el mantenimiento del equipo.

Por lo anterior se debe reforzar las estrategias y programas de formación y entrenamiento del personal de operaciones para mejorar habilidades en particular

con el propósito de obtener mejoras en el desempeño y la disponibilidad de los equipos.

Análisis de criticidad y repuestos con mayor cantidad de fallas en los motores CAT 3612 de estación El Porvenir de OCENSA

Los repuestos y consumibles identificados como malos actores del conjunto de motores CAT 3612 en la figura 6, tienen a la vez de forma simultánea altos precios de reposición, y que de forma combinada impactan significativamente los costos de mantenimiento de la organización.

La tabla 5 muestra los guarismos de los tiempos promedios de fallas y costos de reposición de los elementos identificados como malos actores en los motores CAT 3612 de la estación El porvenir a corte de Septiembre 2016.

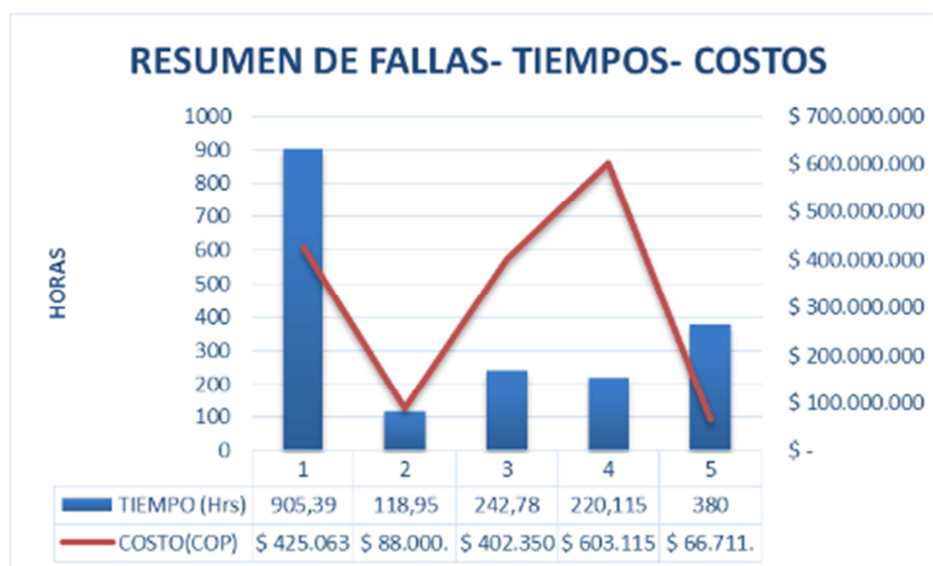


Figura 10. Gráfico de datos de malos actores, versus tiempo promedio de fallas y costos de reposición en motores CAT 3612, estación El Porvenir.

Tabla 5. Datos de malos actores, versus tiempos promedio entre fallas y costos de reposición en motores CAT 3612 a corte de Septiembre 2016.

SUBSISTEMA	MODO DE FALLA	ELEMENTO EN FALLA	TIEMPO (Hrs)	COSTO (COP)
LUBRICACION	Alta temperatura en el aceite (208° F)	ACEITE (1)	905,39	\$ 425.063.555
REFRIGERACION	Falla en bombas de refrigeración - Las bomba de refrigeración no proporcionan el flujo (caudal y presión) de líquido requerido para mantener el rango de temperatura.	BOMBAS DE AGUA (2)	118,95	\$ 88.000.000
ADMISION Y ESCAPE	Falla en Turbo cargadores - Turbos no generan el presión de carga suficiente	TURBO (3)	242,78	\$ 402.350.053
COMBUSTIBLE	Falla en Inyectores - Daño componentes internos de inyectores (taponamiento o goteo)	INYECTORES (4)	220,11	\$ 603.115.599
CONTROL	Falla RTD/Falla cableado RTD	RTD (5)	380	\$ 66.711.764

Debido a que el modo de falla del aceite lubricante es por degradación térmica, factor que es netamente operacional, no se toma en cuenta para hacer el análisis de stock de materiales.

Tal como se mencionó en el capítulo 2.1.1., la forma de operación de la estación es 8:2, es decir ocho (8) unidades operando y dos (2) disponibles, lo que en promedio acumula 5760 horas de operación en los equipos al mes. Comparando

los datos de operación con los datos de estos con la información de la tabla 5, se puede establecer el promedio de elementos requeridos al mes según el promedio de fallas acumuladas. Ver tabla 6.

Tabla 6. Cantidad promedio mes de elementos a reponer por falla.

ELEMENTO	CANT. POR EQUIPO	T. PROMEDIO FALLA	T. SERVICIO BOMBEO	CANT. REQUERIDA MIN MES
BOMBAS DE AGUA (2)	2	118,95	952	6
TURBO (3)	2	242,78	1942	3
INYECTORES (4)	12	220,11	1761	4
RTD (5)	14	380	3040	2

A continuación se muestra información tomada del ERP de OCENSA del módulo contable, con los estados actuales de inventario de materiales de los elementos en análisis. Figuras 11 a 14.

Resumen de stocks: Lista base

Selección

Material: 20900 Bomba, Agua, CAT, 3612, 3616, Reman, Colombia
 Tp. material: ZESA REPUESTOS
 Unidad medida: EA Unidad medida base: EA

Resumen de stocks

Mantante / Sociedad / Centro / Almacén / Lote / Stock especial	Libre utilización	Control calidad	Reservado	Reserva entrada	Stock en curso	Con...
Total	4,000		8,000		7,000	
NODC OLEODUCTO DE COLOMBIA SA			1,000		2,000	
OCCA ESTACION CAUCASIA - NODC			1,000		2,000	
OC CAB1 AREA PLNEC MATERIALES CORRECTIVOS ODC					1,000	
0001 Almacen Caucaia 1CB PISO					1,000	
OC SA OLEODUCTO CENTRAL S. A.	4,000		7,000		5,000	
EPO ESTACION DE BOMBEO EL PORVENIR	2,000				1,000	
0014 RAT. MTTO MAYOR OGAI			2,000			
NUEVOS			2,000			

Figura 11. Pantallazo estado actual stock de bomba de agua.

Resumen de stocks: Lista base

Selección

Material: 8179 Sensor.Temp.-50/260°C,1/4",46",3H,MBICO,
 Tp.material: ZHEE SUMINISTRO
 Unidad medida: EA Unidad medida base: EA

Resumen de stocks

Visualiz. detallada

Mandante / Sociedad / Centro / Almacén / Lote / Stock especial	Libre utilización	Control calidad	Reservado	Reserva entrada	Stock en curso
• NODC OLEODUCTO DE COLOMBIA SA	7,000				
• CCA ESTACION CAUCASIA - NODC	7,000				
• 0014 MAT. MTTO MAYOR 2CA5	7,000				
• NUEVOS	7,000				
• OCSA OLEODUCTO CENTRAL S.A.	44,000		29,000		5,000
• CCA ESTACION CAUCASIA	3,000				5,000
• 0001 ALM. CAUCASIA 1FA1	1,000				5,000
• NUEVOS	1,000				
• 0014 MAT. MTTO MAYOR 1EB3	2,000				
• NUEVOS	2,000				
• EPO ESTACION DE BOMBEO EL PORVENIR	19,000		6,000		
• EPOAL ARTA PLIEG MATERIALES CORRECTIVOS	19,000				
• 0001 ALM. EL PORVENIR 1CC4	19,000				
• NUEVOS	19,000				

Figura 12. Pantallazo estado actual stock de RTD.

Resumen de stocks: Lista base

Selección

Material: 28064 inyector,Bomba,Comb,CAT,3616,Reman
 Tp.material: ZESA REPUESTOS
 Unidad medida: EA Unidad medida base: EA

Resumen de stocks

Visualiz. detallada

Mandante / Sociedad / Centro / Almacén / Lote / Stock especial	Libre utilización	Control calidad	Reservado	Reserva entrada	Stock en curso
• OCSA OLEODUCTO CENTRAL S.A.	97,000		49,000		32,000
• CCA ESTACION CAUCASIA	27,000				
• 0001 ALM. CAUCASIA 1AA PISO	15,000				
• NUEVOS	15,000				
• 0014 MAT. MTTO MAYOR 1EA1	12,000				
• NUEVOS	12,000				
• EPO ESTACION DE BOMBEO EL PORVENIR	30,000				
• 0001 ALM. EL PORVENIR	18,000				
• NUEVOS	18,000				
• 0014 MAT. MTTO MAYOR CONT1A02	12,000				

Figura 13. Pantallazo estado actual stock de Inyectores.

Resumen de stocks: Lista base

Selección

Material: 28000 rueda,Compres,Turbocarg,ABB,VTC254

Tp.material: ZESA REPUESTOS

Unidad medida: EA Unidad medida base: EA

Resumen de stocks

Visualiz. detallada

Mandante / Sociedad / Centro / Almacén / Lote / Stock especial	Libre utilización	Control calidad	Reservado	Reserva-entrada	Stock en curso	Consolidado
Total			3,000		4,000	
NODC OLEODUCTO DE COLOMBIA SA					3,000	
OCCA ESTACION CAUCASIA - NODC					3,000	
0001 Almacen Caucazie					3,000	
OCSA OLEODUCTO CENTRAL S.A.			3,000		1,000	
OCCA ESTACION CAUCASIA			1,000		1,000	
EPO ESTACION DE BOMBEO EL PORVENIR			2,000			

Figura 14. Pantallazo estado actual stock de Turbocargadores.

Con la información de las figuras anteriores, sumada a los datos de la tabla 6, se puede obtener la propuesta para el stock de elementos. Sin embargo haciendo evaluación de cantidades de algunos de estos elementos es preferible tener a disposición componentes como Inyectores y RTDs suficientes y necesarios para en caso tal de requerirse poder completar una unidad de motor completa. En consecuencia el stock de materiales propuesto, quedaría tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7. Propuesta para Stock de materiales Estación El Porvenir

PROPUESTA STOCK DE REPUESTOS ESTACIÓN EL PORVENIR			
SISTEMA	ELEMENTO EN FALLA	EXISTENCIA (und)	STOCK A IMPLEMENTAR
REFRIGERACION	BOMBAS DE AGUA	2	3
ADMISION Y ESCAPE	TURBOS	2	3
COMBUSTIBLE	INYECTORES	18	12
CONTROL	RTD	19	14

3. CONCLUSIONES

Aplicar la metodología RCM aporta un evidente fortalecimiento de conocimiento del equipo por parte del personal que participa en los grupos de trabajo, y para este caso de estudio de particular no fue la excepción.

Durante el desarrollo de la técnica se logró identificar las funciones específicas de cada uno de los subsistemas analizados y de igual forma se pudo establecer con claridad los modos y consecuencia de las fallas que afectan a estos, a tal punto que resultó fácil poder determinar cuáles son las causas más recurrentes para que los motores CAT 3612 de la estación el Porvenir de OCENSA dejen de cumplir su función, encontrándose que se concentran en los subsistemas de refrigeración, admisión-escape, combustible y control.

Luego de un minucioso y detallado proceso, se generan unos planes de mantenimiento con un listado de tareas a realizar por parte de personal especializado y a una frecuencia específica, en donde la prioridad está en conservar componentes críticos y eliminar los malos actores. Lo relevante respecto a estos planes es que un gran porcentaje de las tareas proactivas propuestas deben ser ejecutadas por el Operador del equipo, quien actuará como el primer mantenedor, especialmente con las tareas a condición (verificación, monitoreo, comprobaciones, ajustes, entre otros) y de muy alta frecuencia.

En un análisis en detalle de los componentes principales de cada subsistema, se logró identificar los elementos que más fallas presentan, entre los cuales se destacan cuatro elementos: Bombas de agua, Inyectores de combustible, Turbocargadores y RTD's (sensor-transmisor de temperatura), sumado a ello el alto costo que representan, por lo cual se constituyen en malos actores de la disponibilidad de los motores.

Dicho análisis arrojó la creación de un listado de estos elementos para crear un stock y poder soportar eventualidades ante futuras fallas, sin embargo este último está sujeto a las políticas de rotación de inventarios, gestión de procesos de compras y proveedores de OCENSA, por lo cual se debe como una sugerencia.

Finalmente y de forma análoga al anterior punto la implementación de los planes de mantenimiento propuestos para intervención de los motores CAT 3612 en la estación El Porvenir está sujeto a decisión por parte de OCENSA, quien a través de sus diferentes estrategias corporativas y visión del negocio evaluará la conveniencia o no de la implementación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. AFEFI, Islam. Reliability-Centered Maintenance Methodology and Application: A Case Study. Scientific Research, 2010; 2:863-873.
- [2]. DESHPANDE, V.S., MODAK, JP. Application of RCM for safety considerations in a Steel plant. Reliability Engineering & System Safety, 2002; 78: 325-334.
- [3]. DESHPANDE, V.S., MODAK, JP. Application of RCM to a medium scale industry. Reliability Engineering & System Safety, 2002; 77: 31-43.
- [4]. INTERNATIONAL STANDARD ISO 14224. Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. Second edition, 2006.
- [5]. MORA, Alberto. Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, Alfaomega Colombiana S.A., Bogotá D.C., 2009.
- [6]. MOUBRAY, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Edición en Español, Aladon LLC, 2004.
- [7]. NOWLAN, F. Stanley, HEAP, Howard F. Reliability-Centered Maintenance. United Airlines. San Francisco - CA, 1978. Report Number AD-A066-579
- [8]. RCM2 – Introducción. [en línea]. [fecha de consulta: Junio de 2016]. Disponible en internet en: <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/rcm2-introduccion>
- [9]. What is RCM2™/RCMII™. [en línea]. [fecha de consulta: Junio de 2016]. Disponible en internet en: <http://www.thealadonnetwork.com>

ANEXOS

ANEXO A Planes de Mantenimiento propuestos para los motores CAT 3612

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
Inicio de turno	Operador
Tarea Propuesta	
Verificar nivel de aceite lubricante, reponer en caso de ser necesario.	
Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción del lubricante.	
Verificar estado de cierre o integridad de válvula de drenaje del aceite motor.	
Verificar y ajustar las válvulas de paso de refrigerante, para que esté completamente abierta.	
Verificar nivel de refrigerante, reponer en caso de ser necesario	
Verificar visualmente estado de operación de conjunto motor-ventilador del cooler del de refrigerante.	
Verificar visualmente la integridad de bombas, tuberías y líneas conductoras de líquido refrigerante en busca de fugas.	
Verificar visualmente la integridad del panel del cooler del refrigerante en busca de fugas.	
Verificar el cierre hermético e integridad de la válvula de drenaje de líquido refrigerante.	
Inspeccionar estado de líneas de conducción de aire admisión motor.	
Verificar que entrada de aire de admisión motor al <i>precleaner</i> esté libre de objetos que puedan obstruir paso de aire, retire elementos en caso de ser necesario.	
Verificar estado que entrada de aire de admisión motor al <i>precleaner</i> esté libre de objetos que puedan obstruir paso de aire, retire elementos en caso de ser necesario.	
Verificación de soportes de fijación y estructural del estado del silenciador.	
Verificar y ajustar la válvula reguladora de presión de combustible en sitio.	
Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción del combustible.	
Verificar nivel de combustible al inicio de turno.	
Verificar lectura del indicador de presión diferencial de la unidad de filtrado de combustible.	
Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción, unidad de filtrado, panel de enfriamiento y bomba de combustible en busca de fugas.	
Verificar integridad de cableado de RTD de entrada refrigerante.	
Verificar integridad de cableado de sensor de temperatura de camisas.	
Verificar integridad de cableado de sensor de temperatura de turbocargadores.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
0 horas	Operador
Tarea Propuesta	
Monitoreo en línea del nivel de particular metálicas en el aceite lubricante.	
Monitoreo en línea del comportamiento de los gradientes de temperatura en componentes similares del motor.	
Monitoreo en línea del comportamiento de temperatura a la salida de la caja termostática.	
Monitoreo en línea del comportamiento de los gradientes de temperatura en componentes similares del motor.	
Monitoreo en línea del desempeño de operación de los Turbocargadores.	
Monitoreo en línea apertura de mecanismos de cierre o regulación de aire admisión motor.	
Monitoreo en línea del desempeño de operación de la Bomba de combustible.	
Monitoreo en línea del desempeño de operación de los inyectores.	
Monitoreo en línea de temperatura de combustible a la salida del calentador.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de entrada de refrigerante al motor.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de camisas.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de turbocargadores.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de presión de combustible por baja.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de presión de combustible por alta.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de combustible CRUDO.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de combustible DIESEL / CRUDO.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de entrada de aceite lubricante al motor.	
Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de diferencial de presión en unidad de filtración de lubricante motor.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
Procedimiento de arranque programado	Operador
Tarea Propuesta	
Verificación de operación de bomba de prelubricación.	
Verificación suministro de aire para accionar bomba de prelubricación.	
Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción del lubricante.	
Monitoreo en línea del comportamiento de temperatura en camisas del motor.	
Verificación y monitoreo de operación del motobomba eléctrica durante maniobra de arranque.	
Realizar flushing (barrido) del todo el sistema solo con combustible diesel durante 15 min posteriores al arranque del equipo.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
Procedimiento de parada programada	Operador
Tarea Propuesta	
Realizar flushing (barrido) del todo el sistema solo con combustible diesel durante 10 min previo al apagado total del equipo.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
0 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Sustituya aquellas líneas y accesorios de conducción de combustible que muestren deterioro evidente.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
360 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Monitoreo por análisis de aceite lubricante motor para identificar contaminantes o presencia de líquido refrigerante diluido.	
Monitoreo por análisis de aceite lubricante motor para identificar contaminantes por excesivo paso de gases de combustión al carter.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
1000 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Tensionar correa del motor-ventilador del cooler sistema de refrigeración motor, en caso de tensión en máxima carrera, reemplace correas.	
Cambiar elementos de filtración de aire admisión motor (Filtro primario y Secundario)	
Sustituya por nuevo los elementos filtro de combustible.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
2000 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Realizar cambio total de aceite lubricante del motor.	
Realizar limpieza mecánica exterior del panel de enfriamiento de lubricante (<i>Oil-cooler</i>)	
Realice cambio de filtros de aceite lubricante.	
Realice cambio de filtros de aceite lubricante.	
Realizar limpieza mecánica exterior del panel de enfriamiento de combustible.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
4000 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Desmontar para ajuste de tolerancias conexión válvula turbowash y turbocargador.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
8000 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Inspeccionar estado y verificar operación de bomba de lubricación, reemplace en caso de ser necesario.	
Realice verificación de condición y aplique aire presurizado para garantizar continuidad de líneas y ductos de conducción de lubricante.	
Inspección por boroscopio para evaluar el estado de componentes cámara de combustión (Pistones, camisas, culatas y empaquetaduras), reemplace componentes en caso de ser necesario.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
12000 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Cambiar componentes sellos y empaques del motor a accesorios como tapa válvulas, sensores y modulo del bloque durante <i>top-end overhaul</i> .	
Cambie empaquetadura del carter durante <i>top-end overhaul</i> .	
Sustituir por nuevo el panel de enfriamiento aceite lubricante (<i>Oil-cooler</i>) durante <i>top-end overhaul</i> .	
Cambiar bombas de liquiedo refrigerante durante <i>top-end overhaul</i> .	
Cambiar bombas de liquiedo refrigerante durante <i>top-end overhaul</i> .	
Cambiar empaquetaduras del múltiple de escape durante <i>top-end overhaul</i> .	
Reacondicionamiento de inyectores – RECOM.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
24000 horas	Mecánico
Tarea Propuesta	
Cambiar empaquetaduras y retenes del cigüeñal durante <i>major overhaul</i> .	
Cambio total del líquido refrigerante del motor.	
Realizar flusing con mezcla de agua limpia y aditivos desincrustantes por 10 minutos.	
Cambiar mangueras flexibles y abrazaderas de apriete de todo sistema de refrigeración del motor durante <i>major overhaul</i> .	
Cambiar juntas flexibles y abrazaderas de apriete de todo sistema de admisión de aire motor durante <i>major overhaul</i> .	
Cambiar indicador de servicio de unidad de filtración aire de admisión	
Desarme completamente el postenfriador y realice limpieza de aletas y paneles con desincrustante, y cepillado interno de tubulares.	
Cambiar empaquetaduras conexiones tubos de entrada y salida del silenciador y reemplace secciones afectada por corrosión (si aplica) y aplique pintura anticorrosiva para alta temperatura durante <i>major overhaul</i> .	
Limpieza mecánica y lavado interno de ductos de conducción de gases de escape durante <i>major overhaul</i> .	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
4000 horas	Instrumentista
Tarea Propuesta	
Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de lubricante en el carter, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de presión a la salida de la bomba de lubricación, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura de lubricante en el carter, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de presión diferencial en la unidad de filtración de lubricante, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de lubricante en el carter, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de refrigerante, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura del líquido refrigerante, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura entrada aire exterior, reemplace en caso de ser necesario.	
Verificar condición de operación de los actuadores de corte y regulación en las líneas de combustible, reemplace componentes en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de combustible en el tanque auxiliar de la unidad, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura de combustible a la entrada del motor, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de presión diferencial de combustible en la unidad de filtración, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de entrada refrigerante, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de camisas, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de turbocargadores, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de velocidad de turbocargadores, reemplace en caso de ser necesario.	
Verificar integridad de cableado de sensor de presión de combustible por alta.	
Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de combustible CRUDO, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de combustible DIESEL / CRUDO, reemplace en caso de ser necesario.	
Inspeccionar estado y verificar operación de sensores de vibración del equipo, reemplace en caso de ser necesario.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
0 horas	Instrumentista
Tarea Propuesta	
Verificación del estado de operación del DCS para monitorear variable de velocidad de turbocargadores.	
Verificación del estado de operación del DCS para control de actuadores sistema SCADA.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
12000 horas	Instrumentista
Tarea Propuesta	
Cambiar sensor de presión de combustible por baja, durante <i>top-end overhaul</i> .	
Cambiar sensor de presión de combustible por alta, durante <i>top-end overhaul</i> .	
Cambiar sensor de presión diferencial en unidad de filtración de lubricante motor, durante <i>top-end overhaul</i> .	
Cambiar sensores de vibración Bently Nevada, durante <i>top-end overhaul</i>	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
24000 horas	Instrumentista
Tarea Propuesta	
Cambiar RTD de entrada refrigerante durante <i>major overhaul</i> .	
Cambiar RTD de camisas, durante <i>major overhaul</i> .	
Cambiar RTD de turbocargadores, durante <i>major overhaul</i> .	
Cambiar transmisor de temperatura de combustible CRUDO, durante <i>major overhaul</i> .	
Cambiar transmisor de temperatura de combustible DIESEL / CRUDO, durante <i>major overhaul</i> .	
Cambiar RTD de entrada aceite lubricante al motor, durante <i>major overhaul</i>	
Cambio de actuadores neumático y eléctrico del control del sistema SCADA, durante <i>major overhaul</i> .	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
1000 horas	Electricista
Tarea Propuesta	
Inspeccionar condición, realizar limpieza exterior de resistencias eléctricas para remover incrustaciones y realizar prueba de operación.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
Rediseño	Área de Proyectos
Tarea Propuesta	
Rediseñar el accionamiento motor eléctrico por alto riesgo de daño en equipo por alta temperatura - incluir elemento de indicador de servicio de motor e interconectar al panel de monitoreo operador.	

PLAN DE MANTENIMIENTO	
EQUIPO	Motor CAT 3612
Intervalo	Ejecutor
360 horas	Inspector calidad crudo
Tarea Propuesta	
Verificar por muestreo la especificación del combustible en los tanques de almacenamiento principal (bajo la configuración de operación actual mínimo crudo de 18 API).	

ANEXO B Hojas de información desarrolladas para los motores CAT 3612

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA				
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
		-				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFEECTO	
0	Proporcionar movimiento rotativo para generar bombeo de producto a tasa de 920 +/- 30 RPM, a un delta máximo de 100°F entre cilindros de las cámaras de combustión. Considerando estándares de calidad.	A	No proporcionar movimiento rotativo a 920 +/- 30 RPM.	1	Falla en subsistema Lubricación	
				2	Falla en subsistema Refrigeración	
				3	Falla en subsistema Admisión y Escape	
				4	Falla en subsistema Combustible	
				5	Falla en subsistema Monitoreo y Control	
B	Motor parado		1	Falla en subsistema Lubricación		
			2	Falla en subsistema Refrigeración		
			3	Falla en subsistema Admisión y Escape		
			4	Falla en subsistema Combustible		
			5	Falla en subsistema Monitoreo y Control		
C	Delta de temperatura en cilindros de las cámaras de combustión fuera de campo		1	Falla en subsistema Lubricación		
			2	Falla en subsistema Refrigeración		
			3	Falla en subsistema Admisión y Escape		
			4	Falla en subsistema Combustible		
			5	Falla en subsistema Monitoreo y Control		
D	Condición subestandar de operación que afecte la salud de los trabajadores, medioambiente, la seguridad y/o integridad de las instalaciones y equipos.		1	Falla en subsistema Lubricación		
			2	Falla en subsistema Refrigeración		
			3	Falla en subsistema Admisión y Escape		
			4	Falla en subsistema Combustible		
			5	Falla en subsistema Monitoreo y Control		
E	Paro o daño en algún otro componente básicos de las bombas principales BPC		PT-GE-00	Falla en Incrementador		
			RO-PU-00	Falla en Bomba multietapas		
			RO-CE-06	Falla en otros elemento auxiliar		

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA		Hoja 1 / 4	
		Motor CAT 3612			
		SUB-SISTEMA		Lubricación	
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
1.1	Lubricar internamente el motor y sus conjuntos motrices (cigüeñal, casquetes de bielas y bancada, pistones, camisas, árbol de levas, mecanismos de engranajes en general) a una presión de 65 +/- 15 PSI a una temperatura nominal de aceite de 185°F, con una presión diferencial de 7-10 PSI en el unidad de filtración.	A	Lubrica por debajo del rango de presión permisible	<p>1 Falla en bomba de lubricación - La bomba de lubricación no proporciona la presión requerida</p> <p>2 Líneas obstruidas - Falla por líneas de lubricación por taponamiento o bloqueo.</p> <p>3 Perdida fluido lubricante o Bajo nivel - Por ausencia de fluido lubricante.</p> <p>4 Degradación del lubricante - El aceite lubricante altera sus propiedades físicas principalmente disminuye su fluidez</p>	<p>Desgaste abrasivo acelerado en componentes mecánicos, exceso de generación y suspensión de limalla en el aceite; Bloqueo o agarrotamiento de componentes; Elevación de nivel de temperatura del aceite, mayor tasa de degradación. Parada súbita del equipo Tiempo de parada 905, 39 Hrs y \$425.063.555. DAÑO DEL EQUIPO.</p> <p>Cavitación de la bomba de lubricación, daño por desgaste agresivo a componentes mecánicos. Al activar protección por bajo nivel genera parada de equipo Tiempo de parada 74,65 Hrs y \$ 28.210.994, FUGAS INTERNAS Y EXTERNAS.</p> <p>Desgaste o daño en componentes mecánicos, bloqueo mecánico entre componentes con movimiento relativo; Elevación de temperatura del aceite. Tiempo de parada 0 Hrs y \$ 0- SE DETECTA EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE CON EL ESTADO DE LOS INYECTORES.</p>

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 2 / 4		
		Motor CAT 3612					
		SUB-SISTEMA					
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
1.1	Lubricar internamente el motor y sus conjuntos motrices (cigüeñal, casquetes de bielas y bancada, pistones, camisas, árbol de levas, mecanismos de engranajes en general) a una presión de 65 +/- 15 PSI a una temperatura nominal de aceite de 185°F, con una presión diferencial de 7-10 PSI en el unidad de filtración.	B	No hay flujo de lubricante	3	Bajo nivel de lubricante	Cavitación de la bomba de lubricación, daño por desgaste agresivo a componentes mecánicos. Al activar protección por bajo nivel genera parada de equipo Tiempo de parada 0 Hrs y \$ 0, NO HAY PARADAS O FALLAS POR SWITCH DE NIVEL.	
				4	Falla switch nivel - Daño en interruptor de nivel de lubricante	Puede o no parar el equipo, lo cual puede generar daños considerables tiempo de parada 0 y \$ 0	
				5	Falla sensor presión - Daño en sensor presión de lubricante		
		C	Temperatura lubricante muy por encima de 185°F (7°F arriba)	1	Alta temperatura en el aceite (208° F)	Causa degradación acelerada del aceite; afecta y deteriora componentes como empaques, retenes y sellos, causando fugas de aceite Parada del equipo tiempo de parada 0 y \$ 0	
				2	Fallo Sensor de temperatura	Puede o no activar protección por temperatura alta generando parada súbita de equipo Tiempo de parada 0 y \$ 0.	
		D	Presión diferencial fuera de rango superior en unidad de filtración	1	Unidad de filtración obstruida	Cavitación de la bomba de lubricación, daño por desgaste agresivo a componentes mecánicos. Al activar protección por presión diferencial alta, generando parada de equipo Tiempo de parada 0 y \$0.	
					2	Fallo Sensor de presión diferencial	Puede o no activar protección por presión diferencial alta generando parada súbita de equipo Tiempo de parada 0 y \$ 0.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 3 / 4	
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
		Lubricación				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA	
1.2	Contener un volumen de 339 Gal de lubricante durante el tiempo de operación y el tiempo de paro el equipo	A	Perdida de contención	1	Fuga tuberías - Presencia de fugas de aceites por cuerpo de la tubería, conexiones, orings, bloques de distribución.	Contaminación alrededor del área y estructura del motor por presencia de fugas de aceite lubricante; Posible generación de vapores sin mayor riesgo a la salud por tratarse de un espacio abierto; Posibles afectación agua y suelos; Posible afectación a la integridad del personal por tener superficies resbalosas y riesgo medio de conato de incendio por fluido inflamable a alta temperatura. Tiempo de parada 106, 48 y \$ 9.370.708
				2	Fuga motor - Presencia de fugas de aceites por el bloque del motor, retenedores, sellos, empaquetas, tapas, visores.	
				3	Fuga carter - Presencia de fuga de aceite lubricante por daño en empaquetadura de carter o por daño en estructura del carter	
				4	Daño válvula drenaje de aceite - Fuga de aceite lubricante por daño en válvula de drenaje	
				5	Fuga Enfriador - Presencia de fuga de aceite lubricante por daño o corrosión en estructural en el panel.	
				6	Falla empaquetadura cigüeñal - Daño en empaquetadura del cigüeñal	
1.3	Prelubricar previo al encendido del motor a una tasa de 15 +/- 2 GPM por 3 minutos mínimo.	A	Lubrica por debajo del rango de flujo permisible	1	Falla en bomba de prelubricación - La bomba <i>prelub</i> no proporciona la flujo requerido	No hay lubricación de efectiva de componentes previo al arranque, equipo no activa señal para iniciar equipo. Puede causar demoras en maniobra de encendido del equipo. Tiempo de parada 0y \$0
				2	Líneas obstruidas o bloqueadas - Falla por taponamiento o restricción en paso de flujo a través de las líneas	
				3	Unidad de filtración obstruida	

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 4 / 4	
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
		Lubricación				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
1.3	Prelubricar previo al encendido del motor a una tasa de 15 +/- 2 GPM por 3 minutos mínimo.	B	No hay flujo de lubricante	1	Falla de accionamiento neumático del motor de bomba <i>prelub</i> - falta de suministro de aire para accionar motor neumático o por no operatividad del mismo	No hay lubricación de componentes previo al arranque; Demoras en la operación de arranque, equipo no activa señal para iniciar equipo. Tiempo de parada 0 y \$ 0.
				2	Tubería rota - Ruptura súbita de línea de lubricación	Contaminación alrededor del área y estructura del motor por presencia de fugas de aceite lubricante; Posibles afectación agua y suelos; Posible afectación a la integridad del personal por tener superficies resbalosas y riesgo menor de conato de incendio por fluido inflamable, pero a bajas temperaturas. Tiempo de parada 0y \$ 0.
		C	No lubrica por 3 minutos como mínimo.	1	Falla en bomba de prelubricación - bomba <i>prelub</i> presenta falla durante el tiempo requerido	No hay lubricación de efectiva de componentes previo al arranque; Puede causar demoras en maniobra de encendido por no dar señal para arranque del equipo. Tiempo de parada 0 Hrs y \$ 0.
				2	Falla switch nivel - Daño en Switch de nivel lubricante.	Equipo no activa señal para iniciar periodo de prelubricación, demora en maniobra de encendido del equipo. tiempo de parada 0 y \$0.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 1 / 5	
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
Refrigeración						
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA		
2.1 Refrigerar el motor y sus componentes internos para mantener principalmente la temperatura de las camisas entre 185° - 200°F a una presión del refrigerante de 47 PSI.	A	No refrigerar las camisas en el rango de temperatura requerido	1	Falla en bombas de refrigeración - Las bombas de refrigeración no proporcionan el flujo (caudal y presión) de líquido requerido para mantener el rango de temperatura.	Incremento de temperatura, posible disparo por temperatura alta (228°F), fatiga térmica de componentes. Tiempo 118 ,95 HRS y \$ 88.000.000 FALLAS POR BOMBAS IZQ Y DER.	
			2	Líneas obstruidas - Falla por líneas de refrigeración por taponamiento o bloqueo.		Alta temperatura en el sistema, por no flujo de refrigerante, fatiga térmica de componentes y daños estructurales de componentes poliméricos (siliconas, ect) y posible generación de fugas. Tiempo 115, 51 Hrs y \$ 34.258.203
			3	Línea bloqueada - Restricción en paso de flujo por actuador (válvula) defectuoso o accionado.		
			4	Perdida fluido refrigerante o Bajo nivel - Por ausencia de fluido		Cavitación de las bombas, posible daño en ejes, sellos, retenes e impeler; daños mayor si se frena la bomba, ya que afectaría dientes de engrane con el cigüeñal. Paro de equipo tiempo 33, 38 Hrs y \$ 2.814.376
			5	Degradación del refrigerante - Alteración en las propiedades químicas y termodinámicas del líquido refrigerante (calor específico).Dilución con agua.		
			6	Incrustaciones - Presencia de incrustaciones en paredes o superficies de contacto que incrementan la resistencia térmica y limitan el intercambio de calor entre el refrigerante y las camisas		Disminución en la tasa de transferencia de calor entre el refrigerante y las camisas, generando incremento en las temperaturas de operación, con consecuencias considerables para la integridad de los componentes tiempo 0y \$0.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 2 / 5
		Motor CAT 3612			
		SUB-SISTEMA			
		Refrigeración			
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFFECTO DE FALLA	
2.1 Refrigerar el motor y sus componentes internos para mantener principalmente la temperatura de las camisas entre 185° - 200°F a una presión del refrigerante de 47 PSI.	A	No refrigerar las camisas en el rango de temperatura requerido	7	Daño en caja termostática - restricción, bloqueo o apertura total del paso de líquido refrigerante entre los circuitos combinados.	Generación de fatiga térmica en los componentes por las variaciones de temperatura y choques térmicos inducidos; Posible falla catastrófica y paro súbito del equipo tiempo 0 y \$ 0.
			8	Falla motor <i>cooler</i> - Falla por exceso de vibración en el conjunto motor-ventilador del <i>cooler</i>	Apagado de moto-ventiladores, generando incremento en temperatura del refrigerante en el sistema, posible paro del equipo tiempo 33, 38 Hrs y \$ 2.814.376
			9	Falla motor <i>cooler</i> - Falla por corte suministro eléctrico en el conjunto motor-ventilador del <i>cooler</i>	Incremento de temperatura, posible disparo por temperatura alta, fatiga térmica de componentes. Tiempo 0 y \$ 0.
			10	Falla motor <i>cooler</i> - Falla por paro motor eléctrico del conjunto motor-ventilador del <i>cooler</i>	
	B	No hay flujo de refrigerante	1	Falla en bombas de refrigeración - no genera flujo	No hay refrigeración de componentes; elevación de temperatura, daños por fatiga o degradación térmica de componentes; Parada súbita del equipo Tiempo 118 ,95 HRSy \$ 88.000.000 FALLAS POR BOMBAS IZQ Y DER

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 3 / 5
		Motor CAT 3612			
		SUB-SISTEMA			
		Refrigeración			
	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
2.1	Refrigerar el motor y sus componentes internos para mantener principalmente la temperatura de las camisas entre 185° - 200°F a una presión del refrigerante de 47 PSI.	B No hay flujo de refrigerante	2 Tubería o mangueras rota - Ruptura súbita de línea de refrigeración	Contaminación del área de operaciones, posible generación de vapores sin mayor riesgo a la salud por tratarse de un espacio abierto, precaución por posibles quemaduras sobre tejidos blandos (piel, cara, ojos) al contacto con el fluido. Tiempo de parada 54,81 Hrs y \$ 9.653.902.	
			3 Bajo nivel de refrigerante	Cavitación de bombas de refrigerante, posible daños a componentes de la bomba (eje, sellos, impeller); Al activar protección por bajo nivel genera parada de equipo Tiempo de parada 0 y \$ 0.	
			4 Falla switch nivel - Daño en interruptor de nivel de refrigerante	Paro súbito del equipo tiempo de parada 0 y \$ 0	

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 4 / 5
		Motor CAT 3612			
		SUB-SISTEMA			
		Refrigeración			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA
2.2	Contener un volumen de 660 Gal de líquido refrigerante durante el tiempo de operación y el tiempo de paro el equipo.	A Perdida de contención	1	Fuga de refrigerante en bombas - Presencia de fugas por ejes y soporte de bomba	Contaminación alrededor del área y estructura del motor por presencia de fugas de líquido refrigerante; Posible generación de vapores sin mayor riesgo a la salud por tratarse de un espacio abierto; Posibles afectación agua y suelos; Posible afectación a la integridad del personal por tener superficies húmedas y resbalosas o fluido a alta temperatura. Tiempo de parada 0 y \$ 0.
			2	Fuga de refrigerante por tuberías - Presencia de fugas de refrigerante por líneas de tubería, conexiones, accesorios y bloques de distribución	
			3	Fuga de refrigerante por mangueras - Presencia de fugas de refrigerante por cuerpo de mangueras o por terminaciones (ajuste de abrazaderas).	
			4	Fuga en radiador del cooler - Presencia de fugas de refrigerante por panel del radiador	
			5	Fuga en motor - Presencia de fugas de líquido refrigerante por cuerpo del motor (bloque, tapas, tapones, empaquetaduras)	
			6	Fuga por drenaje - Presencia de fugas de líquido refrigerante válvulas para drenaje.	

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 5 / 5			
		Motor CAT 3612						
		SUB-SISTEMA						
		Refrigeración						
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA			
2.3	Bombear líquido refrigerante a temperatura nominal de entrada de 194°F por 3 minutos para precalentar el sistema antes de arrancar.	A	Bombear refrigerante a menos de 194°F	1	Falla intercambiador de calor (ICC) del líquido refrigerante - El calentador no opera de forma adecuada en el rango de temperatura requerido	Choque térmico significativo que puede afectar la integridad de la camisas, pistones y anillos, posible falla catastrófica del equipo; Demoras en maniobra o no arranque del equipo Tiempo de parada 4,89 y \$ 0.		
				2	Sensor de temperatura fuera de rango			
		B	No hay flujo de refrigerante	1	Falla eléctrica - Falla en accionamiento del motor eléctrico de la bomba		No hay precalentamiento de componentes para alcanzar temperatura de operación, posibles daño por choque térmico o degradación térmica de componentes; Parada súbita de subsistema y demoras en maniobra de arranque del equipo Tiempo de parada 0 y \$ 0.	
						2	Líneas obstruidas - Falla por líneas de refrigeración por taponamiento o bloqueo.	No hay precalentamiento de componentes para que alcancen la temperatura de operación, posible fatiga por choque térmico; Demora en maniobra de arranque del equipo Tiempo de parada 0 y \$ 0.
						3	Tubería o mangueras rota - Ruptura súbita de línea de refrigeración	Contaminación del área de operaciones por derrames; Precaución por posibles quemaduras sobre tejidos blandos al contacto con el fluido; Demora en maniobra de arranque del equipo Tiempo de parada 0 y \$ 0.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 1 / 4	
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
		Admisión y Escape				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
3.1	Suministrar aire atmosférico para combustión a una presión de carga de 20 PSI, con una presión diferencial en la unidad de filtración de 7" H2O máximo y una temperatura de entrada máxima de 104°F	A	Suministrar aire para combustión por debajo de 20 PSI	1	Falla en Turbocargadores - Turbos no generan el presión de carga suficiente	Afectación régimen del motor, aumento de temperatura del sistema; Parada del equipo tiempo 242,78 Hrs y \$402.350.053
				2	Fuga línea admisión - Presencia de fugas por ductos y líneas de admisión	Perdida de potencia del motor por pérdida de aire rico para combustión, afectación régimen del motor, exceso de temperatura; paso súbito del equipo tiempo 3 Hrs y \$ 0.
				3	Ruptura de juntas flexibles de turbos - Presencia de fugas por juntas flexibles	Perdida de potencia del motor; posibles rupturas de ductos y juntas por sobrepresión; daño en componentes por exceso de temperatura tiempo 0 y \$ 0
				4	Líneas obstruidas o bloqueadas - Restricción en paso de flujo de aire para combustión.	Ruido anormal, perdida de presión del sistema de aire, daño en válvulas de turbo wash. Tiempo 3 Hrs y \$ 0.
				5	Falla en válvula de turbowash	Perdida de régimen motor, exceso de vibración y golpeteo; Daño catastrófico por exceso de temperatura y vibración; Paro del equipo tiempo parada 49, 7 Hrs y \$ 27.365.936
	B	No hay flujo de aire para combustión	1	Falla actuador paso de aire - Cierre parcial o total súbito de la Guillotina durante la operación.	Perdida de régimen motor, exceso de vibración y golpeteo; Daño catastrófico por exceso de temperatura y vibración; Paro del equipo tiempo parada 49, 7 Hrs y \$ 27.365.936	
			2	Obstrucción o bloqueo ductos entrega de aire - Obstrucción de por material exterior (hojas, papeles, plástico)		

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 2 / 4	
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
		Admisión y Escape				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
3.1	Suministrar aire atmosférico para combustión a una presión de carga de 20 PSI, con una presión diferencial en la unidad de filtración de 7" H2O máximo y una temperatura de entrada máxima de 104°F	C	Presión diferencial en unidad de filtración fuera del rango	1	Unidad de Filtración Obstruida - Restricción de paso de aire al sistema para combustión	Bajo rendimiento por mala combustión; Elevación de temperatura en turbos, posible daño catastróficos tiempo 0 y \$ 0
				2	Sensor de presión fuera de rango	Activa protección por presión diferencial alta, generando parada súbita del equipo tiempo 0 y \$ 0
		D	Temperatura de entrada por encima del valor permisible	1	Temperatura exterior alta - Temperatura ambiente exterior alta por encima de 104°F	Elevación de temperatura en el sistema de admisión, degradación térmica acelerada de componentes , daño catastróficos en turbos; Interrupción contantes de servicio por disparo de equipo tiempo 242,78 Hrs y \$402.350.053
				2	Alta temperatura en turbos - Sobretemperatura en admisión de turbos	
				3	Sensor de temperatura fuera de rango	Activa protección por temperatura alta, generando parada súbita del equipo. tiempo 0 y \$ 0

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA		Hoja 3 / 4
		Motor CAT 3612		
		SUB-SISTEMA		
Función		Admisión y Escape		
FUNCION		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA
3.2	Refrigerar el aire de admisión a la salida del postenfriador por debajo de 142°F	A No refrigerar el aire, sale a más de 142°F	1 Postenfriador obstruido internamente - taponamiento interno, reducción de diámetro e incrustaciones internas en panel.	Radiador obstruido no brinda condiciones para refrigerar el aire de admisión, lo que mantenido baja la densidad del aire, generado mala combustión, consigo temperatura elevada en el sistema, posible disparo del equipo por alarma de alta temperatura; Paro del equipo e interrupción del servicio. tiempo 0 y \$ 0
3.3	Conducir los gases de escape de 30 metros de altura por encima del techo	A Incapaz de conducir los gases hasta el techo	1 Daño en tubería de escape - Presencia de fugas por cuerpo de tubería o por juntas de conexiones 2 Fuga en múltiple de escape - Empaques deteriorados 3 Fuga en Silenciador - Presencia de fuga en cuerpo por deterioro por corrosión, o por juntas y conexiones. 4 Alto <i>Blow by</i> motor - Perdida de compresión del motor, lo que origina paso excesivo de gases al carter, los cuales salen por el cuerpo del motor.	Contaminación por gases, sin mayor afectación por tratarse de un espacio abierto, suciedad y acumulación de hollín en equipo; posible afectación por quemadura de gases calientes y proyección de partículas calientes tiempo 0 y \$ 0 Contaminación del aceite lubricante alterando sus características física y degradándolo de forma acelerada. Expulsión de gases y vapores que pueden afectar la salud de trabajadores. tiempo 0 y \$ 0

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 4 / 4
		Motor CAT 3612			
		SUB-SISTEMA			
		Admisión y Escape			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
3.3	Conducir los gases de escape de 30 metros de altura por encima del techo	B Flujo de gases restringido	1 Restricción de líneas de conducción de gases - Presencia de obstrucciones, bloqueos o taponamientos por acumulación de hollín o elementos exteriores a lo largo de todo el recorrido desde la cámara de combustión hasta la salida de tubería por encima del techo	Posible ruptura de juntas y conexiones por sobrepresión de gases en tubería de escape, daño en tubería. Adicionalmente genera pérdida de régimen del motor por acumulación de gases en línea de escape. Tiempo 85,07 Hrs y \$ 31.546.689	
3.4	Reducir el nivel de ruido del escape a 98 dB(A) en 15 metros.	A Ruido excesivo	1 Daño en estructura del silenciador	Contaminación auditada del ambiente, puede causar afectación en la salud de trabajadores, así como aumento en daños estructurales de edificaciones vecinas por aumento de vibración y ondas sonoras por el aumento del ruido tiempo 0 y \$ 0	

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 1 / 4
		Motor CAT 3612			
		SUB-SISTEMA			
		Combustible			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
4.1	Suministrar fluido combustible a 75 +/- 15 PSI a la cámara de combustión a una temperatura de 125 +/- 10°F, con una presión diferencial de 10 PSI máximo en la unidad de filtración.	A Suministra combustible por debajo del rango de presión permisible en la cámara de combustión	<p>1 Falla en bomba de combustible - La bomba de combustible no proporciona la presión requerida</p> <p>2 Falla en regulador de presión combustible - Elemento descalibrado o deteriorado.</p> <p>3 Falla en Inyectores - Daño componentes internos de inyectores (taponamiento o goteo)</p> <p>4 Falla en Culatas - Pérdida de compresión por daño en cuerpo de culatas, válvulas o empaquetadura</p> <p>5 Líneas obstruidas - Falla en líneas de combustible por reducción diámetro por acumulación de material (bajo caudal de combustible, menor a 20 gpm)</p> <p>6 Líneas bloqueadas - Restricción en paso de flujo por actuador (válvula) defectuoso o accionado.</p> <p>7 Baja fluidez de la mezcla combustible - error composición de mezcla que afecta las condiciones de fluidez requerida para bombeada. COMBUSTIBLE FUERA DE ESPECIFICACION.</p>	<p>Afectación régimen del motor, pérdida de potencia e inestabilidad de carga; Aumento de vibración y ruido; Parada del equipo e interrupción del servicio tiempo 220,115 Hrs y \$ 603.156.599.</p> <p>Pérdida de potencia del motor, demora respuesta de aceleración del motor. Tiempo 0 y \$0</p> <p>Pérdida de potencia del motor, demora respuesta de aceleración del motor o cavitación de la bomba de combustible. tiempo 8,5 y \$ 30.643.732</p> <p>Sobrecarga sobre bomba de combustible, incluso taponamiento y obstrucción de toberas y lapicillos e inyectores tiempo 20,93 Hrsy \$11.752.439</p>	

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA		Hoja 2 / 4
		Motor CAT 3612		
		SUB-SISTEMA		Combustible
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA
4.1 Suministrar fluido combustible a 75 +/- 15 PSI a la cámara de combustión a una temperatura de 125 +/- 10°F, con una presión diferencial de 10 PSI máximo en la unidad de filtración.	B No hay flujo de combustible	1 Falla en bomba de combustible - No genera flujo	2 Obstrucción de líneas combustible taponadas o bloqueadas.	Sin flujo de combustible se suspende la combustión y para el equipo de manera súbita, se corre el riesgo de daño en inyectores y bomba por no efectuar el lavado con combustible limpio (solo diesel) antes de la parada del equipo tiempo 0 y \$ 0.
		3 Obstrucción línea retorno de combustible		
		4 Línea rota - Ruptura súbita de línea de combustible		Contaminación del área de operaciones por derrame de combustible, alto riesgo de conato de incendio por liquido combustible a altas temperaturas; Posibles quemaduras sobre tejidos blandos al contacto con el fluido; Parada del equipo. Tiempo de parada 27, 07 Hrs y \$ 1.837.494
		5 Bajo nivel de combustible		Cavitación de la bomba de combustible, daño por componentes internos; Posible ingreso de aire del sistema y mayor cantidad de contaminantes. Tiempo de 30 min para purga + \$ 0.
		6 Falla Switch nivel - Daño en Instrumentos de tanques diarios.		Puede o no generar paro de equipo por activación de protección por bajo nivel de combustible. Tiempo 0 y \$ 0.

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 3 / 4
		Motor CAT 3612			
		SUB-SISTEMA			
		Combustible			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFEECTO DE FALLA
4.1	Suministrar fluido combustible a 75 +/- 15 PSI a la cámara de combustión a una temperatura de 125 +/- 10°F, con una presión diferencial de 10 PSI máximo en la unidad de filtración.	C Temperatura de combustible por fuera del rango permisible para inyección en la cámara de combustión	1	Falla calentador combustible - no alcanza el rango de temperatura de operación	La mezcla de combustible no alcance el nivel de fluidez requerido para facilitar su bombeo, puede causar taponamiento de líneas, toberas e inyectores. Tiempo 0 y \$ 0
			2	Falla calentador combustible - supera el rango de temperatura de operación	Sobrecalentar la mezcla de combustible genera vapores en tanque de retorno de combustible, pudiendo afectar la salud del personal y genera una condición peligrosa de explosión del tanque. Tiempo 0 y \$ 0
			3	Enfriador de combustible obstruido externamente - Obstrucción de por material exterior en el panel (hojas, papeles, plástico)	El exceso de temperatura de la mezcla combustible puede generar vapores en el tanque de retorno de combustible, aumentando el riesgo de explosión. Además de afectar la salud del personal por la inhalación de vapores. Tiempo 0 y \$ 0
			4	Enfriador de combustible obstruido internamente - taponamiento interno, reducción de diámetro e incrustaciones internas en panel.	
			5	Falla Sensor de temperatura	Puede o no activar la protección por temperatura en cualquier momento, con lecturas aceptables no de temperatura. Alto riesgo de daño de componentes internos en el motor, puede causar incendios o explosiones y comprometer la seguridad de personal y las instalaciones. tiempo 18,43 Hrs y \$1.572.950

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 4 / 4	
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
		Combustible				
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA		EFEECTO DE FALLA	
4.1	Suministrar fluido combustible a 75 +/- 15 PSI a la cámara de combustión a una temperatura de 125 +/- 10°F, con una presión diferencial de 10 PSI máximo en la unidad de filtración.	D	Presión diferencial fuera de rango superior en unidad de filtración	1	Unidad de filtración obstruida	Cavitación de bomba de combustible, daño por desgaste abrasivo de componentes internos en bomba. Tiempo 0 y \$ 0
				2	Falla Sensor de presión diferencial	Puede o no activar la protección por presión en cualquier momento, con lecturas aceptables o no de presión. Riesgo medio de paro de equipo por daño de componentes internos en el motor. Tiempo 0 y \$ 0
4.2	Contener el volumen de control del flujo durante su recorrido por el motor durante la operación y los 3 Gal de combustible durante los tiempos de paro del equipo.	A	Perdida de contención	1	Fugas por líneas de combustible	Contaminación alrededor del área y estructura del motor por presencia de fugas de mezcla combustible; Posible generación de vapores sin mayor riesgo a la salud por tratarse de un espacio abierto, alto riesgo de conato de incendio; Posibles afectación a agua y suelos circunvecinos; La pérdida de contención causa ingreso de aire al sistema, generando demoras en el proceso de reinicio. Tiempo de parada 21, 55 Hrs y \$ 778.850
				2	Fugas por unidad de filtrado	
				3	Daño enfriador de combustible	
				4	Falla en bomba combustible - Presencia de fuga de combustible al exterior del motor.	
				5	Falla en Inyector - Goteo de combustible durante tiempo de paro a la cámara	

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA			Hoja 1 / 2
		Motor CAT 3612			
FUNCIÓN		SUB-SISTEMA			
		Monitoreo y Control			
		FALLA FUNCIONAL	MODOS DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
5.1	Monitorear las variables de operación (Presiones, Temperaturas, Horometros, Niveles, Velocidad, etc.) del equipo.	A	Alta temperatura de entrada de refrigerante AC/ OC	1 Daño en RTD 2 Daño en cableado de RTD 3 Falla de comunicación 4 Falla en PLC	Sobrecalentamiento del motor o daños por fatiga o choque térmico en los componentes; Puede causar daños catastróficos en el motor. Tiempo 41,63 Hrs y \$ 3.802.149
		B	Desviación temperatura de cilindro sobre el promedio (motor con carga)	1 Falla en RTD 2 Falla de comunicación 3 Falla en PLC 4 Daño en cableado de RTD	Puede causar contaminación del aceite por combustible, esta falla para el motor, lo manda a <i>Cool down</i> . Tiempo 32,54 Hrs y \$ 3.741.763
		C	Alta temperatura de entrada turbos	1 Falla en RTD 2 Falla de comunicación 3 Falla en PLC 4 Daño en cableado de RTD	Daño catastrófico del turbo, deja la unidad por fuera de línea. Tiempo 0 y \$ 0
		D	Alta velocidad turbos	1 Falla de comunicación con el DCS 2 Falla de sensor de velocidad	Afecta régimen del motor; provoca daño catastrófico del turbo; Parada del equipo. Tiempo 20,07 Hrsy \$ 0
		E	Baja presión de combustible (baja velocidad)	1 Falla en transmisor de presión 2 Falla en PLC	Combustión insuficiente, perdida de potencia, contaminación de conjuntos motrices, agarrotamiento de conjuntos al apagar el equipo. Tiempo 3 Hrs y \$\$ 1.978.658
		F	Alta presión de combustible	1 Falla en transmisor de presión 2 Falla en señal de mA 3 Falla en PLC	Contaminación del aceite (Dilución), daño catastrófico en el cigüeñal y elementos de lubricación interna. Tiempo 0 y \$ 0

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA				Hoja 2 / 2
		Motor CAT 3612				
		SUB-SISTEMA				
Monitoreo y Control						
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA		EFECTO DE FALLA
5.1	Monitorear las variables de operación (Presiones, Temperaturas, Horómetros, Niveles, Velocidad, etc.) del equipo.	G	Baja temperatura de combustible CRUDO	1	Falla en transmisor de temperatura	Daño en inyectores, contaminación del aceite, mala combustión. Tiempo 129,85 Hrs y \$ 8.407.004
				2	Falla en PLC	
				3	Falla en RTD	
		H	Alta temperatura de combustible DIESEL / CRUDO	1	Falla en transmisor de temperatura	
		2	Falla en PLC			
		3	Falla en RTD			
		I	Alta temperatura de entrada de aceite	1	Falla en PLC	Degradación y fatiga térmica; Daño catastrófico; Parada del equipo. Tiempo 0 y \$ 0
				2	Falla en RTD	
		J	Alta presión diferencial de filtros de aceite	1	Falla en PLC	Restricción o falta de lubricación de componentes mecánicos, partículas metálicas en el aceite, daño interno por falta de lubricación. Tiempo 0 y \$ 0
				2	Falla en RTD	
5.2	Controlar las variables de operación (Comunicación, Sistema Scada, control del sistema)	A	No controlar las variables	1	Falla en DCS	Daño en sistema de monitoreo de vibración, daño catastrófico en motor/incrementador. Tiempo 380, 07 Hrs y \$ 66.711.764
				2	Falla de comunicación	
				3	Falla en sistema de vibración Bently Nevada	
				4	Falla en sensores de vibración	

ANEXO C Hojas de Decisión desarrolladas para los motores CAT 3612

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 1/4		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
1.1	A	1	N				S						Inspeccionar estado y verificar operación de bomba de lubricación, reemplace en caso de ser necesario	8000 Horas	Mecánico
1.1	A	2	N				S						Realice verificación de condición y aplique aire presurizado para garantizar continuidad de líneas y ductos de conducción de lubricante	8000 Horas	Mecánico
1.1	A	3	S	N	N	S	N	S					Verificar nivel de aceite lubricante, reponer en caso de ser necesario	Inicio de turno	Operador
1.1	A	4	N				N	N	S				Realizar cambio total de aceite lubricante del motor	2000 horas	Mecánico
1.1	A	5	N				N	N	S						
1.1	A	6	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del nivel de particular metálicas en el aceite lubricante	0 horas	Operador
1.1	B	1	N				S						Inspeccionar estado y verificar operación de bomba de lubricación, reemplace en caso de ser necesario	8000 Horas	Mecánico
1.1	B	2	S	N	S		S						Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción del lubricante	Inicio de turno	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA											Hoja 2/4	
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
1.1	B	3	S	N	N	S	N	S					Verificar nivel de aceite lubricante, reponer en caso de ser necesario	Inicio de turno	Operador
1.1	B	4	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de lubricante en el carter, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
1.1	B	5	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de presión a la salida de la bomba de lubricación, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
1.1	C	1	S	N	N	S	S						Realizar limpieza mecánica exterior del panel de enfriamiento de lubricante (<i>Oil-cooler</i>)	2000 horas	Mecánico
1.1	C	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura de lubricante en el carter, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
1.1	D	1	S	N	N	S	S						Realice cambio de filtros de aceite lubricante	2000 horas	Mecánico
1.1	D	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de presión diferencial en la unidad de filtración de lubricante, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 3/4		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
1.2	A	1	S	N	S		S						Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción y unidad de filtrado en busca de fugas de aceite lubricante.	Inicio de turno	Operador
1.2	A	2	S	N	S		N	N	S				Cambiar componentes sellos y empaques del motor a accesorios como tapa válvulas, sensores y modulo del bloque durante <i>top-end overhaul</i> .	12000 horas	Mecánico
1.2	A	3	S	N	S		N	N	S				Cambie empaquetadura del carter durante <i>top-end overhaul</i> .	12000 horas	Mecánico
1.2	A	4	S	N	S		S						Verificar estado de cierre o integridad de válvula de drenaje del aceite motor.	Inicio de turno	Operador
1.2	A	5	S	N	S		N	N	S				Sustituir por nuevo el panel de enfriamiento aceite lubricante (<i>Oil-cooler</i>) durante <i>top-end overhaul</i>	12000 horas	Mecánico
1.2	A	6	S	N	S		N	N	S				Cambiar empaquetaduras y retenes del cigüeñal durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Mecánico
1.3	A	1	S	N	N	S	S						Verificación de operación de bomba de prelubricación	Procedimiento de arranque	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA											Hoja 4/4	
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Lubricación												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O 1 N1	H2 S2 O 2 N2	H3 S3 O 3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
1.3	A	2	N				S						Realice verificación de condición y aplique aire presurizado para garantizar continuidad de líneas y ductos de conducción de lubricante	8000 Horas	Mecánico
1.3	A	3	S	N	N	S	S						Realice cambio de filtros de aceite lubricante	2000 horas	Mecánico
1.3	B	1	S	N	N	S	S						Verificación suministro de aire para accionar bomba de prelubricación	Procedimiento de arranque	Operador
1.3	B	2	S	S			S						Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción del lubricante	Procedimiento de arranque	Operador
1.3	C	1	S	N	N	S	S						Verificación de operación de bomba de prelubricación	Procedimiento de arranque	Operador
1.3	C	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de lubricante en el carter, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 1/4		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Refrigeración												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
2.1	A	1	N				N	N	S				Cambiar bombas de líquido refrigerante durante <i>top-end overhaul</i>	12000 horas	Mecánico
2.1	A	2	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del comportamiento de los gradientes de temperatura en componentes similares del motor	0 horas	Operador
2.1	A	3	S	N	N	S	S						Verificar y ajustar las válvulas de paso de refrigerante, para que esté completamente abierta.	Inicio de turno	Operador
2.1	A	4	S	N	N	S	S						Verificar nivel de refrigerante, reponer en caso de ser necesario	Inicio de turno	Operador
2.1	A	5	N				N	N	S				Cambio total del líquido refrigerante del motor	24000 horas	Mecánico
2.1	A	6	N				N	S					Realizar flusing con mezcla de agua limpia y aditivos desincrustantes por 10 minutos.	24000 horas	Mecánico
2.1	A	7	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del comportamiento de temperatura a la salida de la caja termostática	0 horas	Operador
2.1	A	8	S	N	N	S	S						Verificar visualmente estado de operación de conjunto motor-ventilador del cooler del de refrigerante.	Inicio de turno	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 2/4		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Refrigeración												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
2.1	A	9	S	N	N	S	N	N	N				Rediseñar el accionamiento motor eléctrico por alto riesgo de daño en equipo por alta temperatura - incluir elemento de indicador de servicio de motor e interconectar al panel de monitoreo operador	Rediseño	Área de Proyectos
2.1	A	10	S	N	N	S	S						Tensionar correa del motor-ventilador del <i>cooler</i> sistema de refrigeración motor, en caso de tensión en máxima carrera, reemplace correas	1000 horas	Operador
2.1	B	1	N				N	N	S				Cambiar bombas de liquiedo refrigerante durante <i>top-end overhaul</i>	12000 horas	Mecánico
2.1	B	2	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del comportamiento de los gradientes de temperatura en compontes similares del motor	0 horas	Operador
2.1	B	3	S	N	N	S	S						Verificar nivel de refrigerante, reponer en caso de ser necesario	Inicio de turno	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 3/4		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Refrigeración												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
										H4	H5	S4			
2.1	B	4	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de refrigerante, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
2.2	A	1	S	N	N	S	S						Verificar visualmente la integridad de bombas de líquido refrigerante en busca de fugas.	Inicio de turno	Operador
2.2	A	2	S	N	N	S	S						Verificar visualmente la integridad de conjunto de tuberías y líneas conductoras de líquido refrigerante en busca de fugas.	Inicio de turno	Operador
2.2	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar mangueras flexibles y abrazaderas de apriete de todo sistema de refrigeración del motor durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Mecánico
2.2	A	4	S	N	N	S	S						Verificar visualmente la integridad del panel del <i>cooler</i> del refrigerante en busca de fugas.	Inicio de turno	Operador
2.2	A	5	S	N	N	S	S						Monitoreo por análisis de aceite lubricante motor para identificar contaminantes o presencia de líquido refrigerante diluido	360 horas	Mecánico
2.2	A	6	S	N	N	S	S						Verificar el cierre hermético e integridad de la válvula de drenaje de líquido refrigerante.	Inicio de turno	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA											Hoja 4/4	
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Refrigeración												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H	H5	S			
			N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10			
2.3	A	1	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del comportamiento de temperatura en camisas del motor	Procedimiento de arranque	Operador
2.3	A	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura del líquido refrigerante, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
2.3	B	1	S	N	N	S	S						Verificación y monitoreo de operación del motobomba eléctrica durante maniobra de arranque.	Procedimiento de arranque	Operador
2.3	B	2	S	N	N	S	S						Verificación de apertura de válvulas de corte del sistema de refrigeración		
2.3	B	3	S	N	N	S	S						Inspección y monitoreo en busca de fuga de líquido refrigerante por línea de conducción		

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 1/3			
			Motor CAT 3612													
			SUB-SISTEMA													
			Admisión y Escape													
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O 1 N1	H2 S2 O 2 N2	H3 S3 O 3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4							
3.1	A	1	S	N	N	S	S							Monitoreo en línea del desempeño de operación de los Turbocargadores	0 horas	Operador
3.1	A	2	S	S			S							Inspeccionar estado de líneas de conducción de aire admisión motor	Inicio de turno	Operador
3.1	A	3	S	S			N	N	S					Cambiar juntas flexibles y abrazaderas de apriete de todo sistema de admisión de aire motor durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Mecánico
3.1	A	4	S	N	N	S	S							Monitoreo en línea apertura de mecanismos de cierre o regulación de aire admisión motor	0 horas	Operador
3.1	A	5	S	S			N	S						Desmontar para ajuste de tolerancias conexión válvula turbowash y turbocargador	4000 horas	Mecánico
3.1	B	1	S	N	N	S	S							Monitoreo en línea apertura de mecanismos de cierre o regulación de aire admisión motor	0 horas	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 2/3		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Admisión y Escape												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
3.1	B	2	S	N	N	S	S						Verificar que entrada de aire de admisión motor al <i>precleaner</i> esté libre de objetos que puedan obstruir paso de aire, retire elementos en caso de ser necesario.	Inicio de turno	Operador
3.1	C	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar elementos de filtración de aire admisión motor (Filtro primario y Secundario)	1000 horas	Mecánico
3.1	C	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar indicador de servicio de unidad de filtración aire de admisión	24000 horas	Mecánico
3.1	D	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento	-	-
3.1	D	2	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del desempeño de operación de los Turbocargadores	0 horas	Operador
3.1	D	3	S	N	N	N	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura entrada aire exterior, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
3.2	A	1	N				N	S					Desarme completamente el postenfriador y realice limpieza de aletas y paneles con desincrustante, y cepillado interno de tubulares.	24000 horas	Mecánico

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 3/3		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Admisión y Escape												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
3.3	A	1	S	N	S		S						Verificar estado que entrada de aire de admisión motor al <i>precleaner</i> esté libre de objetos que puedan obstruir paso de aire, retire elementos en caso de ser necesario.	Inicio de turno	Operador
3.3	A	2	S	N	S		N	N	S				Cambiar empaquedaduras del multiple de escape durante <i>top-end overhaul</i>	12000 horas	Mecánico
3.3	A	3	S	N	S		N	N	S				Cambiar empaquedaduras conexiones tubos de entrada y salida del silenciador y reemplace secciones afectada por corrosión (si aplica) y aplique pintura anticorrosiva para alta temperatura durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Mecánico
3.3	A	4	N				S						Monitoreo por analisis de aceite lubricante motor para identificar contaminantes por excesivo paso de gases de combustión al carter	360 horas	Mecánico
3.3	B	1	S	N	N	S	N	S					Limpieza mecánica y lavado interno de ductos de conducción de gases de escape durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Mecánico
3.4	A	1	S	S			S						Verificación de soportes de fijación y estructural del estado del silenciador	Inicio de turno	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA											Hoja 1/5	
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Combustible												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
4.1	A	1	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del desempeño de operación de la Bomba de combustible	0 horas	Operador
4.1	A	2	S	N	N	S	N	S					Verificar y ajustar la válvula reguladora de presión de combustible en sitio.	Inicio de turno	Operador
4.1	A	3	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del desempeño de operación de los inyectores.	0 horas	Operador
4.1	A	4	N				N						Inspección por boroscopio para evaluar el estado de componentes cámara de combustión (Pistones, camisas, culatas y empaquetaduras), reemplace componentes en caso de ser necesario.	8000 horas	Mecánico
4.1	A	5	N				N	S					Realizar flushing (barrido) del todo el sistema solo con combustible diesel durante 15 min previo a procedimiento de apagador del equipo.	Antes de cada procedimiento de arranque y parada programada	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA											Hoja 2/5	
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Combustible												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
4.1	A	6	S	N	N	S	S						Verificar condición de operación de los actuadores de corte y regulación en las líneas de combustible, reemplace componentes en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
4.1	A	7	N				S						Verificar por muestreo la especificación del combustible en los tanques de almacenamiento principal (bajo la configuración de operación actual mínimo crudo de 18 API).	360 horas	Inspector calidad crudo
4.1	B	1	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea del desempeño de operación de la Bomba de combustible	0 horas	Operador
4.1	B	2	N				N	S					Realizar flushing (barrido) del todo el sistema solo con combustible diesel durante 10 min previo a procedimiento de apagador del equipo.	Antes de cada procedimiento de arranque y parada programada	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA											Hoja 3/5	
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Combustible												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
4.1	B	4	S	S			N	N	N			S	Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción del combustible.	Inicio de turno	Operador
													Sustituya aquellas líneas y accesorios de conducción de combustible que muestren deterioro evidente.	0 horas	Mecánico
4.1	B	5	S	N	N	S	S						Verificar nivel de combustible al inicio de turno	Inicio de turno	Operador
4.1	B	6	S	N	N	N	S						Inspeccionar estado y verificar operación de switch de nivel de combustible en el tanque auxiliar de la unidad, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
4.1	C	1	S	N	N	S	N	S					Inspeccionar condición, realizar limpieza exterior de resistencias eléctricas para remover incrustaciones y realizar prueba de operación.	1000 horas	Electricista
4.1	C	2	S	N	N	S	S						Monitoreo en línea de temperatura de combustible a la salida del calentador.	0 horas	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 4/5		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Combustible												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
4.1	C	3	S	N	N	S	N	S					Realizar limpieza mecánica exterior del panel de enfriamiento de combustible.	2000 horas	Mecánico
4.1	C	4	N				N	S					Realizar flushing (barrido) del todo el sistema solo con combustible diesel durante 10 min previo a procedimiento de apagador del equipo.	Antes de cada procedimiento de arranque y parada programada	Operador
4.1	C	5	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de temperatura de combustible a la entrada del motor, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
4.1	D	1	S	N	N	S	S						Verificar lectura del indicador de presión diferencial de la unidad de filtrado de combustible.	Inicio de turno	Operador
			S	N	N	S	N	N	S				Sustituya por nuevo los elementos filtro de combustible.	1000 Hrs	Mecánico
4.1	D	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de presión diferencial de combustible en la unidad de filtración, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 5/5		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Combustible												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	S1 O1 N1	S2 O2 N2	S3 O3 N3	H4	H5	S4			
4.2	A	1	S	N	S		S						Realizar inspección visual del estado de todas las líneas de conducción, unidad de filtrado, panel de enfriamiento y bomba de combustible en busca de fugas.	Inicio de turno	Operador
4.2	A	2	S	N	S		S								
4.2	A	3	S	N	S		S								
4.2	A	4	S	N	S		S								
4.2	A	5	N				N	N	S				Reacondicionamiento de inyectores - RECOM	12000 horas	Mecánico

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 1/6		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Monitoreo y Control												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1	H2 S2	H3 S3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	O1 N1	O2 N2	O3 N3	H4	H5	S4			
5.1	A	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de entrada refrigerante, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
5.1	A	2	S	N	N	S	S						Verificar integridad de cableado de RTD de entrada refrigerante	Inicio de turno	Operador
5.1	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar RTD de entrada refrigerante durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Instrumentista
5.1	A	4	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de entrada de refrigerante al motor	0 horas	Operador
5.1	B	1	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de camisas, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
5.1	B	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar RTD de camisas, durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Instrumentista

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 2/6			
			Motor CAT 3612													
			SUB-SISTEMA													
			Monitoreo y Control													
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por	
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4				
5.1	B	3	S	N	N	S	S							Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de camisas	0 horas	Operador
5.1	B	4	S	N	N	S	S							Verificar integridad de cableado de sensor de temperatura de camisas	Inicio de turno	Operador
5.1	C	1	S	N	N	S	N	N	S					Cambiar RTD de turbocargadores, durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Instrumentista
5.1	C	2	S	N	N	S	S							Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de turbocargadores, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
5.1	C	3	S	N	N	S	S							Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de turbocargadores	0 horas	Operador
5.1	C	4	S	N	N	S	S							Verificar integridad de cableado de sensor de temperatura de turbocargadores.	Inicio de turno	Operador

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 3/6		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Monitoreo y Control												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
5.1	D	1	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del DCS para monitorear variable de velocidad de turbocargadores.	0 horas	Instrumentista
5.1	D	2	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensor de velocidad de turbocargadores, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
5.1	E	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar sensor de presión de combustible por baja, durante <i>top-end overhaul</i> .	12000 horas	Instrumentista
5.1	E	2	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de presión de combustible por baja.	0 horas	Operador
5.1	F	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar sensor de presión de combustible por alta, durante <i>top-end overhaul</i> .	12000 horas	Instrumentista

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 4/6		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Monitoreo y Control												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
5.1	F	2	S	N	N	S	S						Verificar integridad de cableado de sensor de presión de combustible por alta.	4000 horas	Instrumentista
5.1	F	3	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de presión de combustible por alta.	0 horas	Operador
.1	G	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar transmisor de temperatura de combustible CRUDO, durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Instrumentista
5.1	G	2	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de combustible CRUDO	0 horas	Operador
5.1	G	3	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de combustible CRUDO, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 5/6		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Monitoreo y Control												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			
5.1	H	1	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar transmisor de temperatura de combustible DIESEL / CRUDO, durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Instrumentista
5.1	H	2	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de combustible DIESEL / CRUDO	0 horas	Operador
5.1	H	3	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de RTD de combustible DIESEL / CRUDO, reemplace en caso de ser necesario.	4000 horas	Instrumentista
5.1	I	1	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de temperatura de entrada de aceite lubricante al motor	0 horas	Operador
5.1	I	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar RTD de entrada aceite lubricante al motor, durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Instrumentista

RCM II HOJA DE DECISIÓN			SISTEMA										Hoja 6/6		
			Motor CAT 3612												
			SUB-SISTEMA												
			Monitoreo y Control												
Referencia de Información			Evaluación de Consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tarea Propuesta	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O	H4	H5	S4						
5.1	J	1	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del PLC para monitorear variable de diferencial de presión en unidad de filtración de lubricante motor	0 horas	Operador
5.1	J	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar sensor de presión diferencial en unidad de filtración de lubricante motor, durante <i>top-end overhaul</i> .	12000 horas	Instrumentista
5.2	A	1	S	N	N	S	S						Verificación del estado de operación del DCS para control de actuadores sistema SCADA	0 horas	Instrumentista
5.2	A	2	S	N	N	S	N	N	S				Cambio de actuadores neumático y eléctrico del control del sistema SCADA, durante <i>major overhaul</i>	24000 horas	Instrumentista
5.2	A	3	S	N	N	S	N	N	S				Cambiar sensores de vibración Bently Nevada, durante <i>top-end overhaul</i>	12000 horas	Instrumentista
5.2	A	4	S	N	N	S	S						Inspeccionar estado y verificar operación de sensores de vibración del equipo, reemplace en caso de ser necesario	4000 horas	Instrumentista