

ANÁLISIS RCM2 CARGADOR CATERPILLAR 990 II

WALTER MARTÍNEZ HERRERA.

OMAR MÁRQUEZ NARVÁEZ.



FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
CARTAGENA DE INDIAS
2012

ANÁLISIS RCM2 CARGADOR CATERPILLAR 990 II

WALTER MARTÍNEZ HERRERA.

OMAR MÁRQUEZ NARVÁEZ.

**Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Gerencia
de Mantenimiento**

Director Trabajo Final Integrador

MSc, ME Miguel Ángel Romero Romero



FACULTAD DE INGENIERÍAS

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

CARTAGENA DE INDIAS

2012

Nota de aceptación

Firma
Nombre:
Presidente del jurado

Firma
Nombre:
Jurado

Firma
Nombre:
Jurado

Cartagena de Indias D. T. y C., Marzo de 2012

Cartagena de Indias D. T. y C., Marzo de 2012

Señores:

Comité Evaluador

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Tecnológica De Bolívar

Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter para su estudio, consideración y aprobación el Trabajo Final Integrador titulado “**ANÁLISIS RCM2 CARGADOR CATERPILLAR 990 II**” realizada por los estudiantes **Walter Martínez Herrera y Omar Márquez Narváez**, para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento.

Cordialmente,

Walter Martínez Herrera

Omar Márquez Narváez

Cartagena de Indias D. T. y C., Marzo de 2012

Señores:

Comité Evaluador

Especialización en Gerencia de Mantenimiento

Universidad Tecnológica De Bolívar

Ciudad.

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado **“ANÁLISIS RCM2 CARGADOR CATERPILLAR 990 II”** ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos por la Especialización de Gerencia en Mantenimiento.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente

MSc, ME Miguel Ángel Romero Romero

Director Trabajo Final Integrador

CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN	15
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO	16
1.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO HASTA RCM2 Y CONCEPTOS BÁSICOS	17
1.1.1 Primera generación	17
1.1.2 Segunda Generación	17
1.1.3 Tercera Generación	17
1.1.4 Mantenimiento y RCM	20
2. RCM: LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS	22
2.1 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES	22
2.1.1 Estándares de funcionamiento	23
2.1.2 Contexto Operacional	25
2.2 TIPOS DE FUNCIONES	26
2.2.1 Funciones Primarias	26
2.2.2 Funciones Secundarias	26
2.2.3 Cómo deben listarse las funciones	29
2.3 ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)	33
2.3.1 ¿Qué es un modo de falla?	33
2.3.2 Categorías de modos de falla	34
3. EL PROCESO DE DECISIÓN DE RCM	47
3.1 CONSECUENCIAS DE FALLA	50
3.2 TAREAS PROACTIVAS	51
3.3 LAS PREGUNTAS “A FALTA DE”	53
3.4 TAREA PROPUESTA	53
3.5 FRECUENCIA INICIAL	54
3.6 A REALIZAR POR	54
3.7 QUE SE LOGRA CON RCM?	54
4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM56	
4.1 CONTEXTO OPERACIONAL CARGADOR 990 II	56
CARGADOR CAT 990 SERIE 4FR	56

4.1 MOTOR BÁSICO	59
4.2 SISTEMA DE COMBUSTIBLE	61
4.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	62
4.4 SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE.	63
4.5 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	64
4.6 LISTA DE FUNCIONES	66
4.6.1 Funciones del sistema motriz	66
5. CONCLUSIONES	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Expectativas de mantenimiento creciente.....	18
Figura 2. Cambios en los puntos de vista sobre fallas en equipos	19
Figura 3. Cambios en las técnicas de mantenimiento.....	20
Figura 4. Activo físico mantenible	23
Figura 5. Situación no mantenible.....	24
Figura 6. Descripción de funciones.....	30
Figura 7. Estado general de falla	31
Figura 8. Descripción de fallas funcionales.....	32
Figura 9. Descripción de modos de falla.....	33
Figura 10. Modos de falla categoría 1.....	35
Figura 11. Modos de falla categoría 2.....	35
Figura 12. Modos de falla categoría 3.....	36
Figura 13. Tiempo de parada de máquina Vs. Tiempo de reparación	38
Figura 14. Hoja de información de <i>RCM</i>	39
Figura 15. Perspectiva tradicional de la falla	43
Figura 16. Seis patrones de falla	43
Figura 17. Hoja de decisión de <i>RCM</i>	47
Figura 18. Diagrama de decisión	48
Figura 19. Correlación de referencias - hojas de información & hoja de decisión..	49
Figura 20. Como se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión ..	50
Figura 21. Consecuencias de falla.....	51
Figura 22. Criterios de factibilidad técnica	52
Figura 23. “Preguntas a falta de”	53
Figura 24. Cargador CAT 990.....	56
Figura 25. Esquemático del cargador CAT 990	57
Figura 26. Diagrama de entradas y salidas	58
Figura 27. Motor básico cargador	59

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. AMFE SISTEMAS MOTRIZ.....	72
Anexo B. HOJA DE DECISIÓN SISTEMA MOTRIZ	104

GLOSARIO

AMFE: procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema.

CAMIÓN: equipo utilizado para el transporte de material de un sitio X a otro Y.

CARGADOR: equipo de soporte utilizado para recoger material y depositarlo en los camiones.

DISPONIBILIDAD: es el tiempo que se requiere que los equipo estén aptos para la operación, no es necesario que estén en operación todo el tiempo, lo que se necesita es que estén listos cuando se les solicite. Su fórmula está dada por la relación que hay entre el MTBF y la suma del MTBF y el MTTR, o sea $D=MTBF/(MTBF+MTTR)$.

FALLA FUNCIONAL: incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

FALLA: incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.

FUNCIÓN EVIDENTE: es aquella que eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola al os operadores en circunstancias normales de operación.

FUNCIÓN OCULTA: es aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO: Tareas de reparación de equipos o componentes averiados

MANTENIMIENTO PREDICTIVO: Tareas de seguimiento del estado y desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o análisis por evaluación estadística, que determinen el punto exacto de su sustitución.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO: Tareas de inspección, control y conservación de un equipo/componente con la finalidad de prevenir, detectar o corregir defectos, tratando de evitar averías en el mismo.

MANTENIMIENTO: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

MODO DE FALLA: es definido como cualquier evento que pueda causar la falla funcional de un activo físico, un sistema o un proceso.

MOTONIVELADORA: equipo de apoyo para la construcción de carreteras, nivelación de caminos.

MTBF: Intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo.

MTTR: Es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo o sistema. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que se encuentra fuera de servicio por un fallo, dentro de un período de tiempo determinado

PALA FRONTAL: equipo principal utilizado para cargar material y depositarlo en los camiones.

PERFORADORA: equipo utilizado para hacer la extracción de muestras donde se desea explotar el material, a la vez hace los barrenos donde se introduce la dinamita para hacer la voladura.

PLAN DE MANTENIMIENTO: Relación detalla de las actuaciones de mantenimiento que necesita un ítem o elemento y de los intervalos temporales con que deben efectuarse.

RCM: 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.

TRACTOR: equipo de soporte para la construcción de caminos, apilado de material, construcción de bermas.

RESUMEN

Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) puede ser aplicado en cualquier tipo de empresa, este se ha venido implementando desde el siglo pasado obteniéndose una optimización de los recursos utilizados en el mantenimiento de los diferentes sistemas que se encuentran en la industria.

El propósito de aplicar la metodología RCM en el sistema motriz del cargador CAT 990 II, es optimizar el plan de mantenimiento actual, obtener las tareas idóneas que nos permitan tener el quipo en funcionamiento la mayor cantidad de tiempo posible para cumplir con los indicadores de disponibilidad, mantenibilidad y confiabilidad.

Las tareas de mantenimiento que sean obtenidas del análisis, serán enfocadas teniendo en cuenta las consecuencias operacionales, de seguridad y medioambientales. Se dará respuesta al interrogante de cómo definir las frecuencias y el responsable de ejecutar las tareas obtenidas.

Palabras claves: RCM, Mantenimiento, Disponibilidad, Confiabilidad, Mantenibilidad, Optimización.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los planes de mantenimiento de la flota de cargadores CAT 990 II en una mina de material abrasivo están siendo reestructurados para mejorar la disponibilidad de los equipos y de esta manera lograr la meta de reducir el **MTTR** (Mid Time To Repair), aumentar el **MTBF** (*Mid Time Between Failures*) y cumplir con las disponibilidades planeadas, a la vez que se busca reducir costos de operación.

Los planes de mantenimiento con que se trabaja actualmente han sido diseñados bajo criterios que no son los más adecuados, tales como la experiencia de los técnicos, los manuales de operación, experiencias vividas en otras minas, etc., lo cual hace que las rutinas de mantenimiento no sean eficaces al perder tiempo en tareas innecesarias, pues las condiciones bajo las cuales trabajan los equipos son únicas debido a factores como alturas sobre el nivel del mar, afectando variables como presiones, temperatura, y adicionalmente el tipo de terreno sobre el cual circulan los equipos también varía por las condiciones medioambientales en las cuales se desempeñan.

Con la implementación de la metodología *RCM* se pretende encontrar las tareas más idóneas para la flota de cargadores de la mina, esta será aplicada al resto de la flota de mina si los resultados obtenidos van acorde con las metas propuestas por la compañía en cuanto a disponibilidades y reducción de costos y por ende aumento de la producción.

Para lograr obtener dichas tareas, será necesario contar con el apoyo de técnicos mecánicos, técnicos eléctricos, operadores de cargadores, un facilitador de *RCM* y un Analista de *RCM*, este grupo de trabajo se dedicará a hacer un análisis exhaustivo del equipo, dicho análisis consistirá en estudiar a fondo el sistema motriz del cargador.

El resultado esperado al aplicar la metodología *RCM* es la obtención de las tareas más adecuadas para que los planes de mantenimiento sean lo más eficaces posibles, reflejándose esto en un menor costo operativo, un aumento en disponibilidades y menos paradas por mantenimientos no planeados.

1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO

El proyecto es desarrollado en una mina dedicada a la explotación a cielo abierto de material abrasivo, y está ubicada en el departamento de Córdoba. En el proceso de producción, los cargadores Caterpillar serie 990 II juegan un papel primordial, ya que son estos los encargados de cargar el material obtenido de los puntos de extracción hasta los equipos de acarreo.

Para el proceso es de vital importancia que los cargadores cumplan con la disponibilidad requerida, pues si no se cumple con dicha disponibilidad no se obtendrá la producción planeada. Para lograr este objetivo, se ha optado por reestructurar los planes de mantenimiento en los que se basa la manutención de los cargadores, pues no se están tomando las decisiones adecuadas para realizar las tareas que en verdad hacen que se cumpla la disponibilidad requerida.

Como base fundamental para aumentar la disponibilidad de los cargadores, se ha optado por aplicar la metodología *RCM (Reliability Centered Maintenance)*. Al finalizar dicha aplicación, se espera obtener las tareas más idóneas para cumplir con la necesidad requerida de mantener los cargadores operando la mayor cantidad de tiempo posible durante cada mes. Se toma esta decisión debido a que existen en los planes de mantenimiento actuales un número de tareas que son innecesarias y que en muchas ocasiones lo que causan es pérdida de tiempo y por ende reducción en la disponibilidad. Cuando se haga el contexto operacional, se obtendrá una mejor perspectiva de cómo es la mina, cual es la función de los cargadores en la misma y cómo interactúan con las otras flotas, tales como camiones y palas. Para comprender como funciona la metodología del *RCM*, se empezará por hacer una descripción de la evolución que ha tenido el mantenimiento desde inicios del siglo pasado hasta nuestros días. Luego se dará a conocer como es el proceso en sí hasta la obtención de las tareas más adecuadas, las cuales serán las que se adicionarán a los planes de mantenimiento actuales, descartando las que no apunten a una mejora en el proceso de mantenimiento.

1.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO HASTA RCM2 Y CONCEPTOS BÁSICOS

Desde la década de los 30 se puede hacer un seguimiento del rastro evolutivo del mantenimiento ya que como cualquier proceso progresivo ha seguido una serie de etapas cronológicas, en este caso a través de 3 generaciones.

1.1.1 Primera generación. Esta etapa cubre el período que se extiende hasta la primera guerra mundial, en esos días la industria no estaba tan mecanizada por lo que los tiempos de parada de la maquinaria no cobraba mayor importancia. Esto quiere decir que la prevención de fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes de empresas. Paralelamente, los equipos eran simples y en su gran mayoría sobredimensionados, lo cual los hacía confiables y fáciles de reparar. Como resultado no era necesario tener un mantenimiento sistémico, era suficiente una simple rutina de limpieza, servicio y lubricación, por lo que se necesitaban menos habilidades para realizar el mantenimiento que hoy en día.

1.1.2 Segunda Generación. Para la segunda guerra mundial hubo un cambio drástico en todos los aspectos, la presión de la guerra aumentó la demanda de toda clase de bienes, y al mismo tiempo caía abruptamente la mano de obra industrial. Como resultado de dicho cambio, se aumentó la mecanización de los equipos y ya en los años '50 había aumentado la cantidad y complejidad de las máquinas, debido a esto la industria estaba empezando a depender de ellas.

Al haber un incremento de esta dependencia, se empieza a tener una mayor atención en los tiempos de parada de máquina, lo cual lleva a la idea de que las fallas en los equipos podían y debían ser prevenidas, dando inicio al mantenimiento preventivo. Para la década de los setenta ya se hacen reparaciones mayores a intervalos de tiempo definidos. Para las empresas, el costo de mantenimiento empezó a crecer vertiginosamente con relación a los costos operacionales, lo cual llevó al desarrollo de sistemas de planeación y control del mantenimiento, los cuales ayudaron a tener este bajo control y a ser establecidos como parte de la práctica de mantenimiento.

1.1.3 Tercera Generación. Desde mediados de los setenta los cambios en las empresas han crecido rápidamente y han sido clasificados en tres categorías:

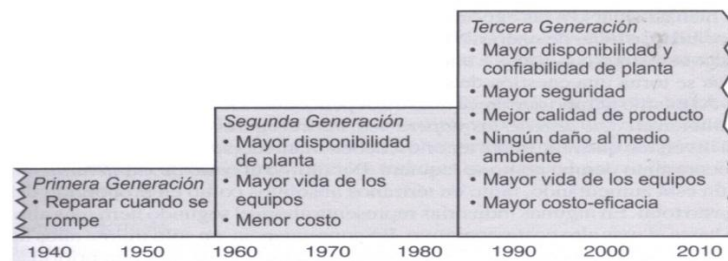
- **Nuevas expectativas:** el crecimiento continuo de la mecanización implica que las paradas de los equipos producen un efecto más importante en la producción y en los costos totales, lo cual se hace más claro con el movimiento a nivel mundial hacia los sistemas de producción “just in time” (justo a tiempo), en el que los reducidos niveles de inventario hacen que una pequeña falla en un equipo probablemente hiciera parar toda una planta. En la actualidad el crecimiento en la mecanización han hecho que la confiabilidad y la disponibilidad sean factores clave en sectores diversos

como el de la salud, el procesamiento de datos, las telecomunicaciones, etc. Una mayor automatización significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la máquina y la calidad del producto, pues más y más fallas traen consecuencias serias para el medio ambiente, la seguridad y la capacidad operacional así como mayores costos de mantenimiento.

- **Nuevas investigaciones:** Más allá de la existencia de mayores expectativas, las nuevas investigaciones están cambiando muchas de las creencias más profundas referidas a la edad y las fallas, parece haber cada vez menos conexión entre la edad de la mayoría de los activos, o sea el tiempo que llevan funcionando, y la probabilidad de que estos fallen.

En la figura 2 se muestra como en un principio la idea era simplemente que a medida que los elementos envejecían, eran más propensos a sufrir fallas. Una creciente “mortalidad infantil” llevó a la segunda generación a creer en la curva de “bañera”.

Figura 1. Expectativas de mantenimiento creciente



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 3.

En la tercera generación, las investigaciones revelan no uno ni dos, si no seis patrones de falla que realmente ocurren en la práctica. Una de las conclusiones más importantes que se deduce de los estudios, es que muchas de las tareas que surgen de los conceptos tradicionales de mantenimiento, a pesar de que se realicen tal cual como se planearon, no logran ningún resultado, mientras que otras son contraproducentes y hasta peligrosas. La industria en general es devota a prestar mucha atención para hacer las tareas de mantenimiento correctamente, pero se necesita hacer mucho más para asegurarse que los trabajos que se planean son los trabajos que deben hacerse.

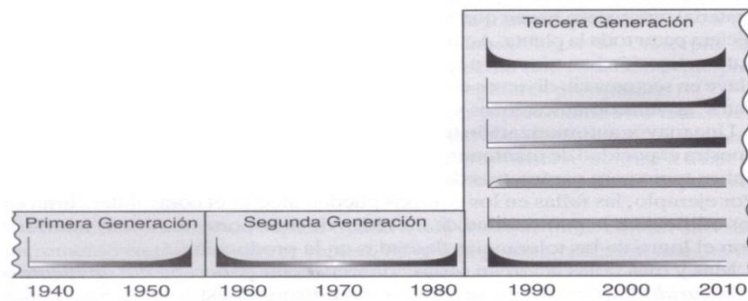


Figura 2. Cambios en los puntos de vista sobre fallas en equipos

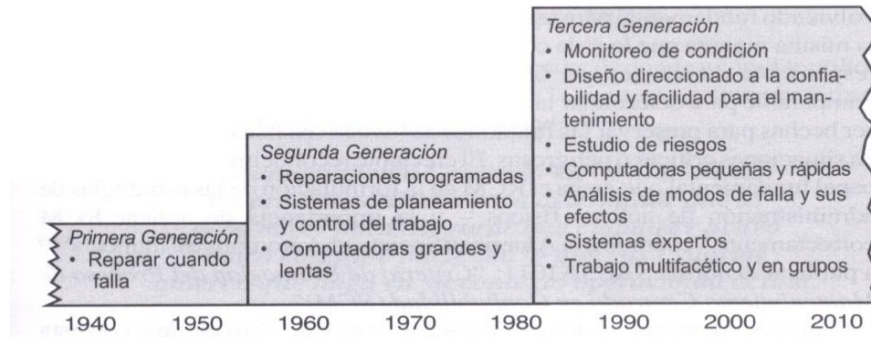
Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008.p. 4.

- **Nuevas Técnicas:** Ha habido un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento, muchos de ellos desarrollados durante los últimos veinte años, los nuevos desarrollos incluyen herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos (**AMFE**) y sistemas expertos. A la vez se pueden encontrar nuevos métodos de mantenimiento, como el monitoreo por condición.

Otro de los desarrollos es el diseño de equipos, con mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento. Finalmente se observa un drástico cambio en el modo de pensar la organización hacia la participación, trabajo en grupo y flexibilidad.

Uno de los mayores desafíos que enfrenta el personal de mantenimiento es no sólo aprender que son estas técnicas sino decidir cuáles valen la pena y cuáles no para su propia organización. Si se hacen las elecciones adecuadas es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo contener y hasta reducir el costo de mantenimiento. Si por el contrario se hacen elecciones inadecuadas, se crean nuevos problemas mientras se empeoran los ya existentes.

Figura 3. Cambios en las técnicas de mantenimiento



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 5.

1.1.4 Mantenimiento y RCM. Desde el punto de vista de la ingeniería hay dos elementos que hacen parte del manejo de cualquier activo físico, el primero es que debe ser mantenido y el segundo es que pueda necesitar ser modificado para seguir operando.

Los diccionarios más importantes definen *mantener* como *causar que continúe* (Oxford), o *conservar su estado existente* (Webster), o *conservar cada cosa en su ser* (Real Academia Española). Esto sugiere que “*mantenimiento*” significa preservar algo. De igual forma, están de acuerdo en que *modificar* significa *cambiar* de alguna manera.

Cuando nos disponemos a mantener algo, surgen los siguientes interrogantes, ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿Cuál es el estado existente que deseamos preservar?

La respuesta a estas preguntas está dada por el hecho de que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función específica. Por lo tanto al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo aquello que los usuarios quieren que haga, por lo tanto se puede definir:

Mantenimiento: asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga¹.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de dónde y cómo se utilice el activo (*contexto operacional*). Esto lleva a la siguiente definición formal de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (*RCM*).

¹ MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 7.

RCM: 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 actual².

² Ibid., p. 7.

2. RCM: LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS

RCM se centra en la relación que hay entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, se necesita saber qué tipo de elementos físicos hay en la empresa y decidir cuáles son las que deben estar sujetas al proceso de *RCM*. En la mayoría de los casos, esto significa que se debe realizar un registro de los equipos completo.

El proceso *RCM* formula siete preguntas acerca del activo o sistema que se intenta analizar:

- a) **¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?**
- b) **¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?**
- c) **¿Cuál es la causa de cada falla funcional?**
- d) **¿Qué sucede cuando ocurre la falla?**
- e) **¿En qué sentido es importante cada falla?**
- f) **¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?**
- g) **¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?**

Las primeras cuatro preguntas hacen parte del desarrollo del Análisis de Modos y Fallas y sus Efectos (*AMFE* o siglas en inglés *FMEA*). Las tres últimas hacen parte de la hoja de decisión, que es donde se hace el análisis de las funciones y se obtienen las tareas a realizar mediante el diagrama de decisión.

- a) **¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?**

Para dar respuesta a esta pregunta, se dará una descripción de cómo deben describirse las funciones, explicar los dos tipos de estándares de funcionamiento principales, categorías de funciones y como se listan las funciones.

2.1 DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES

Un principio establecido por la ingeniería es que las definiciones de funciones deben consistir de un verbo y un objeto. También ayuda mucho iniciar las definiciones con un verbo en infinitivo, como por ejemplo “bombear agua”, “transmitir potencia”. Sin embargo los usuarios no esperan solo que el activo cumpla con una función, si no que esperan que lo hagan con un nivel de funcionamiento aceptable. Entonces la definición de una función y por ende la definición de los objetivos de mantenimiento para ese activo físico, no está completa a menos que especifique el nivel de funcionamiento requerido por el usuario, tan precisamente como sea posible.

Ejemplo: Para un filtro de aceite hidráulico la función queda de la siguiente manera. “Prevenir el ingreso de partículas mayores a 25 micrones al tanque de aceite hidráulico”. Este ejemplo muestra que una definición completa de la función está dada por un verbo, un objeto y el estándar de funcionamiento deseado por el usuario, también llamado condicional.

2.1.1 Estándares de funcionamiento. Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de mantenimiento es asegurarse que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga. La magnitud de eso que los usuarios quieren que el activo haga puede definirse a través de un estándar mínimo de funcionamiento.

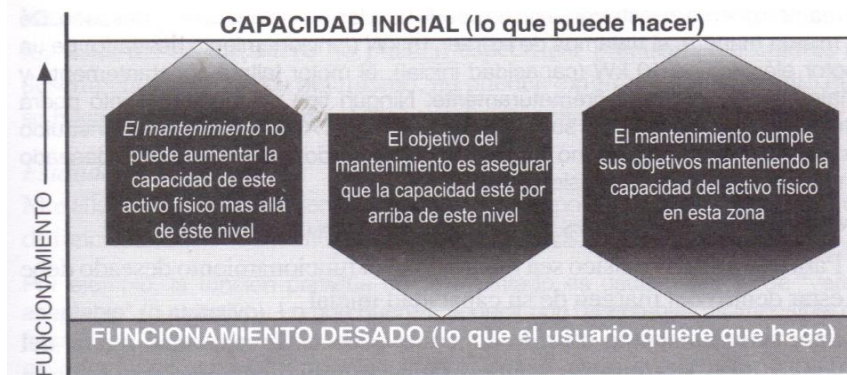
Esto significa que el funcionamiento puede ser definido de las siguientes dos formas:

- a) *Funcionamiento deseado*: es lo que el usuario quiere que su activo haga, es lo que se denomina desempeño.
- b) *Capacidad propia*, que es lo que el activo puede hacer.

Si en algún momento el usuario desea restaurar el activo para asegurar que este cumpla con los requerimientos mínimos de funcionamiento o por lo menos alcanzar su capacidad inicial si baja de ese punto, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- La capacidad inicial de cualquier activo físico está establecida por su diseño y por como está hecho.
- El mantenimiento sólo puede restaurar el activo físico a su nivel de capacidad inicial, no puede ir más allá.

Figura 4. Activo físico mantenible



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 25.

En la práctica, la mayoría de los recursos físicos están contruidos y diseñados adecuadamente, por lo que frecuentemente es posible desarrollar programas de mantenimiento que aseguran que estos activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga.

En síntesis, los activos son mantenibles como lo muestra la figura 4. Por otro lado si el funcionamiento deseado excede la capacidad inicial, ningún tipo de mantenimiento puede hacer que el activo cumpla con esta función, lo cual hace que los activos no sean mantnibles como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Situación no mantenible



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 25.

En el ejemplo citado del filtro de aceite, si su capacidad es filtrar partículas que sean mayores a 30 micrones, no podría hacer su función de prevenir el ingreso las partículas que sean mayores 25 micrones que es la tarea que se desea haga dicho filtro, y no existe un programa de mantenimiento que pueda hacer que el filtro haga su función.

Del ejemplo anterior se pueden extraer dos conclusiones:

- Para que un activo físico sea mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del margen de su capacidad inicial.
- Para determinar esto no solo se debe conocer la capacidad inicial del activo físico, sino también cuál es exactamente el funcionamiento mínimo que el usuario está dispuesto a aceptar dentro del contexto en que va a ser utilizado.

Esto remarca la importancia de identificar previamente que es lo que los usuarios quieren cuando comienza un programa de mantenimiento.

2.1.2 Contexto Operacional.

Anteriormente se definió *RCM* como la metodología utilizada para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional. Este contexto se inserta por completo en el proceso de formulación de estrategias de mantenimiento, comenzando por la definición de funciones.

Por ejemplo, si se considera la situación en la que el programa de mantenimiento está siendo desarrollado para los cargadores CAT 990 II, los cuales son utilizados para cargar material, antes de que se puedan definir las funciones y los estándares de funcionamiento asociados a este tipo de vehículo, el personal que está desarrollando el programa necesita asegurarse exhaustivamente de comprender el contexto operacional.

El hacer preguntas como ¿Qué distancia recorrerá el cargador? ¿Sobre qué tipo de terreno transitará? ¿Cuáles son las peores condiciones climáticas y de tráfico de las rutas? ¿Qué tipo de material a cargar está sometido el cargador? ¿Qué límites de velocidad u otras restricciones se aplican a la ruta?, puede llevar a definir la función primaria de este vehículo de la siguiente manera: *“Cargar hasta 8 toneladas de material rocoso en un tiempo de 11 segundos en cada cargue”*.

El contexto operacional también ejerce influencia en los requerimientos para las funciones secundarias. En el caso del cargador se ve por ejemplo en el clima, el cual demanda uso del aire acondicionado, reglamentaciones especiales de iluminación, también hay que tener en cuenta las condiciones del terreno, etc.

El contexto no solo afecta drásticamente las funciones y las expectativas de funcionamiento, sino que a la vez tiene un efecto en la naturaleza de los modos de falla que puedan ocurrir, sus efectos y consecuencias, la periodicidad con la que pueden ocurrir y que debe hacerse para manejarlas. No es lo mismo tener el cargador del ejemplo trabajando en una mina de diamantes, que tenerlo trabajando en una mina de carbón o una mina de sal, las condiciones son muy diferentes y por ende las fallas que presentará el equipo son también diferentes, ya que hay diferencias en el medio de trabajo, unos medios pueden presentar mayor corrosión, más abrasión, manejo de temperaturas ambientales diferentes, etc.

Todo lo anterior significa que cualquiera que comience a aplicar la metodología *RCM* a cualquier proceso o activo físico debe asegurarse de tener un claro entendimiento del contexto operacional antes de comenzar. Algunos de los factores importantes que deben ser considerados son los procesos por lotes o continuos, los estándares de calidad, los estándares medioambientales, los riesgos para la seguridad, turnos de trabajo, los tiempos de reparación, disponibilidad de repuestos, abastecimiento de materias primas, etc.

Es esencial asegurarse que toda persona que esté involucrada en el desarrollo de un plan de mantenimiento de cualquier activo físico comprenda totalmente el contexto operacional como parte el proceso de *RCM*.

2.2 TIPOS DE FUNCIONES

Todo activo físico tiene más de una función, y si el objetivo de mantenimiento es asegurarse que continúe realizando sus funciones, entonces todas ellas deben estar identificadas junto con los parámetros de funcionamiento deseado. Las funciones se dividen en dos categorías principales que son las *primarias* y las *secundarias*, las cuales se explican a continuación.

2.2.1 Funciones Primarias. Las empresas adquieren los activos físicos por una o probablemente más razones, estas son descritas por definiciones de funcionamiento que se conocen como funciones primarias, ya que son a razón principal por la que se adquirió el activo físico, y por tanto deben ser definidas lo más precisas como sea posible. Dichas funciones primarias son generalmente fáciles de reconocer, realmente el nombre de la mayoría de los activos físicos industriales se basa en su función primaria. Por ejemplo, la función primaria de una trituradora es triturar, la de una máquina empaquetadora es empaacar, etc.

El desafío real está en definir las expectativas de funcionamiento asociadas a dichas funciones, pues para la mayoría de los equipos los parámetros asociados a las funciones primarias tienen que ver generalmente con velocidad, volumen, capacidad de almacenamiento, etc.

2.2.2 Funciones Secundarias. Es de suponer que la mayoría de los activos físicos cumplan con una o más funciones adicionales además de la primaria, éstas son conocidas como funciones secundarias. Por ejemplo la función primaria de un cargador Caterpillar puede ser expresada como cargar hasta 8 toneladas de material en un tiempo de 11 segundos por cargue. Si esta fuese la única función del cargador, entonces el único objetivo del programa de mantenimiento sería preservar su habilidad de cargar hasta 8 toneladas de material en un tiempo de 8 segundos por cargue, sin embargo esto es solo parte de la historia, ya que se espera mucho más de este tipo de vehículos, desde su capacidad para brindar confort hasta la misma capacidad para indicar el nivel de combustible.

Para tener plena seguridad de que Ninguna de estas funciones sea pasada por alto, se dividen en siete categorías de la siguiente manera:

- *Ecología-integridad ambiental*
- *Seguridad*
- *Integridad estructural*

- *Control/contención/comfort*
- *Apariencia*
- *Protección*
- *Eficiencia/economía*

Pese a que las funciones secundarias son usualmente menos obvias que las primarias, la pérdida de una función secundaria puede tener serias consecuencias, a veces más serias que la pérdida de una función primaria. Como resultado, las funciones secundarias frecuentemente necesitan tanto o más mantenimiento que las funciones primarias, por lo que también deben ser claramente identificadas.

Ecología-integridad ambiental

Las expectativas medioambientales de la sociedad se han vuelto un factor crítico del contexto operacional de muchos activos. *RCM* comienza el proceso cumpliendo los estándares asociados con la definición de funciones, expresándolos de manera apropiada.

Seguridad

La gran mayoría de los usuarios quieren estar razonablemente seguros que sus máquinas no le causaran ningún daño y menos aún la muerte a alguna persona. En la práctica, la mayoría de los riesgos para la seguridad surgen más adelante en el proceso *RCM* cuando se analizan los modos de fallas.

Integridad estructural

Las funciones secundarias de tipo estructural comprenden funciones como la de sostener otro activo, otro subsistema u otro componente. Las estructuras grandes y complejas con patrones múltiples de distribución de cargas y niveles altos de redundancias necesitan analizarse usando una versión especializada de *RCM*. Algunos casos típicos de este tipo de estructura son los fuselajes de los aviones, los cascos de los barcos y los elementos estructurales de plataformas marinas de petróleo. Las estructuras de este tipo son raras en la industria en general, con lo que las técnicas analíticas pertinentes no se incluyen en este documento.

Control/Contención/Confort

En muchos casos los usuarios no solo quieren que los activos cumplan con sus funciones con un determinado estándar de funcionamiento, sino que también desean poder regular dicho funcionamiento. Estas expectativas se extraen en funciones separadas. Las formas de medición o de *feedback* (retroalimentación) son un subconjunto importante de las funciones de control. Estas incluyen funciones que dan al operador información en tiempo real de las condiciones del proceso (manómetros, indicadores, axiometros y paneles de control), o que

registran dicha información para un análisis posterior (dispositivos de grabación análogos o digitales, cajas negras de aviones, etc.). Los estándares de funcionamiento asociados con estas funciones no sólo se relacionan con la facilidad con la que se podría leer y asimilar y recuperar la información, sino que también se relacionan con hacerlo con precisión.

En el caso de activos usados para almacenar cosas, su función primaria será la de contener lo que sea que se almacene. No obstante, la contención podría considerarse también como una función secundaria de todos los dispositivos usados para transferir material de cualquier tipo, especialmente fluidos.

La mayoría de las personas esperan que sus activos no les causen ansiedad, molestia o incomodidad, pues muy poco confort afecta la motivación lo cual es indeseable desde el punto de vista humano. También es malo para el negocio ya que la gente que está ansiosa o siente dolores es más propensa a tomar decisiones incorrectas.

Apariencia

En muchos activos la apariencia engloba una función secundaria específica. Por ejemplo, la función primaria de una pintura en la mayoría de los equipos industriales es la de protegerlos de la corrosión, pero los colores brillantes pueden usarse para aumentar la visibilidad por razones de seguridad. De igual manera, la función principal de un cartel en la puerta de una fábrica es mostrar el nombre de la compañía, pero la función secundaria es la de reflejar la imagen de la compañía.

Protección

A medida que los activos físicos se vuelven más complejos, la cantidad de formas en las que puede fallar crece de forma casi exponencial. Esto trae consigo un crecimiento en la variedad y la severidad de las consecuencias de las fallas. Para eliminar o al menos reducir estas consecuencias, se usan cada vez más dispositivos de protección automáticos. Estos dispositivos pueden trabajar de cinco maneras diferentes:

- i. Alertando al operario en caso de condiciones de funcionamiento anormales, esto se puede efectuar mediante luces de advertencia y alarmas sonoras que responden a los efectos de la falla. Los efectos se monitorean con distintos tipos de sensores incluyendo interruptores de nivel, celdas de carga, dispositivos de sobrecarga o sobrevelocidad, sensores de vibración o de proximidad, interruptores de temperatura y presión, etc.

- ii. Apagando el equipo cuando se produce la falla. Estos dispositivos también responden a los efectos de la falla, usan el mismo tipo de sensores y a veces los mismo circuitos que las alarmas pero con diferentes configuraciones.
- iii. Eliminando o minimizando las condiciones anormales que siguen a la falla y que de otra manera causarían un daño mucho mayor, entre estos tenemos los equipos contra incendio, válvulas de seguridad, discos de ruptura, equipamiento médico de emergencia.
- iv. Reemplazando la función que ha fallado, como por ejemplo cualquier clase de equipo sustituto.
- v. Previendo la aparición de situaciones peligrosas, como por ejemplo la instalación de guardas protectoras.

Los dispositivos de protección aseguran que la falla de la función protegida será muchos menos seria que si no tuviera la protección. La existencia de dispositivos de protección también significa que los requerimientos de mantenimiento para la función que se está protegiendo serán mucho menos estrictos de lo que podrían ser sino estuviese protegida.

Economía/eficiencia

Cualquier persona que utilice un activo tiene recursos financieros limitados para gastar en su operación y mantenimiento. Desde el punto de vista del contexto operativo, las expectativas funcionales relativas a los costos usualmente se expresan como presupuesto de gastos.

Desde el punto de vista del activo, las cuestiones económicas pueden incluirse directamente en la definición de funciones que precisarán las expectativas de los usuarios en relación a temas como la economía de combustible y la pérdida de material en el proceso.

2.2.3 Cómo deben listarse las funciones

Una definición funcional escrita adecuadamente define con precisión los objetivos de desempeño. Esto asegura que todos los involucrados conocen exactamente qué se quiere, lo que a su vez asegura que las actividades de mantenimiento permanezcan enfocadas hacia las necesidades de los usuarios o clientes.

Las funciones se listan en la columna de la izquierda de la *hoja de información de RCM*. Las funciones primarias se escriben primero, y se numeran como se ve en la figura 6.

Figura 6. Descripción de funciones

FUNCIÓN	
1	Proporcionar un torque de 836 lb/pie a una velocidad de 2200 RPM al cargador.
2	Contener combustible
3	Contener aceite motor

b) ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

- **Falla**

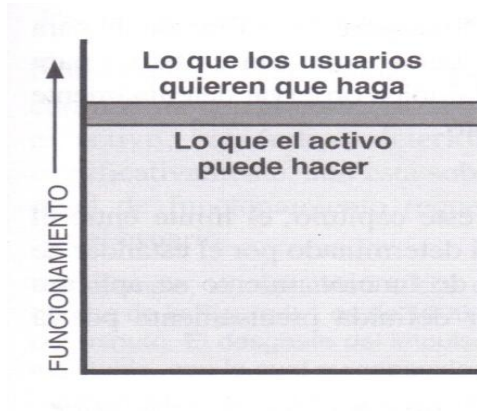
Las personas y las organizaciones adquieren activos físicos porque desean que realicen una tarea y a la vez que cumplan sus funciones en relación con ciertos parámetros de funcionamiento. La capacidad inicial de un activo debe ser mayor que el estándar de funcionamiento deseado, de manera que pueda cumplir con lo que los usuarios desean y admitir el desgaste. Debido a esto, mientras la capacidad del activo continúe superando el estándar de funcionamiento deseado, el usuario va a estar satisfecho.

Pero si por alguna razón el activo es incapaz de hacer lo que el usuario quiere que haga, este considerará que ha fallado. Esto lleva a la definición básica de falla:

“Se define falla como la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga”³.

³ Ibid., p. 49.

Figura 7. Estado general de falla



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 50.

- **Fallas funcionales**

La definición citada trata el concepto de falla de la manera que se aplica a un activo como un todo. En la práctica, esta definición es un poco vaga ya que no distingue claramente entre el estado de la falla (falla funcional) y los eventos que causan este estado de falla (modo de falla). También resulta simplista, ya que no tiene en cuenta el hecho que cada activo tiene más de una función, y por lo general cada función tiene más de un estándar de funcionamiento deseado.

Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario⁴.

- **Funciones y fallas**

Es más preciso definir una falla en términos de pérdida de una función específica, más que la falla del activo como un todo. El proceso *RCM* utiliza el término falla funcional para describir los estados de falla y no a la falla por sí sola. Sin embargo para completar la definición de falla, se debe observar detenidamente el tema de los estándares de funcionamiento.

- **Estándares de funcionamiento y fallas**

El límite entre el funcionamiento satisfactorio y la falla está determinado por el estándar de funcionamiento. Dado que el estándar de funcionamiento se aplica a

⁴ Ibid., p. 50.

funciones individuales, “*falla*” puede ser definida precisamente por la definición de falla funcional.

Entre los estándares de funcionamiento Se tienen los siguientes aspectos:

- **Falla total y parcial:** falla total indica que el activo perdió por completo la capacidad de realizar la tarea para la cual ha sido adquirido, mientras que falla parcial indica que el activo sigue realizando una función pero por debajo de los estándares para los cuales fue adquirido.
- **Fallas funcionales y el contexto operacional:** La definición de falla para cualquier activo depende en gran parte de su contexto operacional. Esto significa que de la misma manera que no se debe generalizar acerca de funciones de activos idénticos, también se tiene que tener cuidado en no generalizar acerca de sus fallas funcionales.

El estándar de funcionamiento utilizado para definir una falla funcional define el nivel de mantenimiento necesario para evitar esa falla, en otras palabras, para mantener el nivel de funcionamiento requerido. Puede ahorrarse mucho tiempo y energía si se definen con claridad los estándares de funcionamiento antes de que se produzca la falla. Los estándares de funcionamiento utilizados para definir la falla deben ser establecidos por el personal de mantenimiento y de operaciones trabajando en conjunto con cualquier otra persona que tenga algo legítimo que decir acerca del comportamiento del activo.

- **Cómo deben ser registradas las fallas funcionales**

Las fallas funcionales se escriben en la segunda columna de la hoja de información y son codificadas alfabéticamente como se muestra a continuación.

Figura 8. Descripción de fallas funcionales

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	
1	Proporcionar un torque de 836 lb/pie a una velocidad de 2200 RPM al cargador.	A	No proporciona torque
		B	Proporciona menos torque de 836 lb/pie
2	Contener combustible	A	No contiene combustible
3	Contener aceite motor	A	No contiene aceite del motor

c) ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

2.3 ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

2.3.1 ¿Qué es un modo de falla?

Un modo de falla es definido como cualquier evento que pueda causar la falla funcional de un activo físico, un sistema o un proceso. La mejor manera de mostrar la conexión y la diferencia entre los estados de falla y los eventos que podrían causarlos es primero hacer un listado de fallas funcionales, luego registrar los modos de falla que podrían causar cada falla funcional.

Figura 9. Descripción de modos de falla

FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	
1 Proporcionar un torque de 836 lb/pie a una velocidad de 2200 RPM al cargador.	A No proporciona torque	1	Ausencia de combustible en el motor
		2	Ausencia de voltaje de 24 voltios
		3	ECM del motor dañado
		4	Sistema de combustible dañado
	B Proporciona menos torque de 836 lb/pie	1	Sistema de combustible dañado
		2	Sensor de temperatura del refrigerante dañado
		3	Sensor de temperatura del aceite del motor dañado
		4	Sensor de temperatura del aceite del motor dañado en modo frío

La figura 9. También indica que como mínimo, la descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo. La descripción debe ser lo suficientemente detallada para poder seleccionar una estrategia de manejo de

falla apropiada, pero no tanto como para perder mucho tiempo en el propio proceso de análisis.

Los verbos que se usan para describir los modos de falla deben elegirse cuidadosamente, ya que tienen una influencia muy fuerte en el proceso posterior de selección de políticas de manejo de falla. Por ejemplo, deben usarse con moderación expresiones como “*falla*”, “*rotura*” o “*mal funcionamiento de*”, ya que dan muy poca información sobre cuál podría ser la manera adecuada de manejar esta falla. El uso de verbos más específicos permite seleccionar la política más adecuada dentro de un rango completo de posibilidades.

Por ejemplo, un término como “*cilindro desacoplado*” no da ninguna pista sobre que se podría hacer para anticipar o prevenir esta falla. Sin embargo, si se dice “*cilindro desacoplado por pérdida de pin*”, se hace más sencillo identificar una tarea proactiva que pueda aplicarse como la revisión periódica del pin.

En el caso de válvulas o interruptores, también debe indicarse si la pérdida de la función se da porque el ítem falla en posición abierta o cerrada: “*la válvula se atasca en posición cerrada*” da mucho más información que decir “*la válvula falla*”. En muchos casos, es necesario ir un paso más allá para expresar de la manera más clara posible un modo de falla.

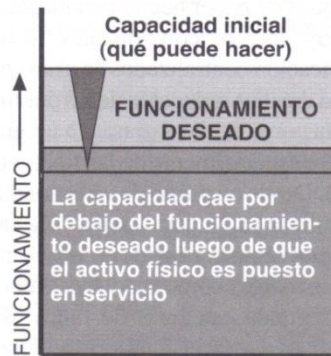
2.3.2 Categorías de modos de falla.

Algunas personas consideran que el mantenimiento se hace únicamente para combatir el deterioro. Otras van un paso más allá y dicen que el *AMFE* llevado a cabo en un activo sólo debe considerar aquellos modos de falla causados por el deterioro e ignorar otras categoría de modos de falla como los errores humanos y de diseño. Desafortunadamente, esto no es correcto ya que por lo general el deterioro causa un porcentaje sorprendentemente bajo de las fallas. Si se acepta que mantenimiento significa asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que haga, entonces un programa de mantenimiento global debe tener en cuenta todos los eventos que tienen posibilidad de amenazar esa funcionalidad.

Los modos de falla pueden ser clasificados en tres grupos de la siguiente manera:

- *Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado*: cubre las situaciones en las que en un primer momento la capacidad está por encima del funcionamiento deseado, pero que luego decae cuando el activo físico es puesto en servicio, quedando por debajo del funcionamiento deseado. Entre las principales causas de pérdida de capacidad se encuentra el deterioro, fallas de lubricación, polvo o suciedad, desarme del equipo y errores humanos que reducen la capacidad.

Figura 10. Modos de falla categoría 1



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 61.

- *Cuando el funcionamiento deseado se eleva por encima de la capacidad inicial:* se tiene que el funcionamiento deseado está dentro de la capacidad del activo físico cuando este es puesto en servicio, pero luego aumenta hasta quedar fuera de su capacidad. Esto hace que el activo físico falle de las siguientes dos maneras, a) el funcionamiento deseado aumenta hasta que el activo físico no puede responder a él y b) el aumento del esfuerzo causa que se acelere el deterioro hasta el punto en que el activo físico se torna tan poco confiable que deja de ser útil.

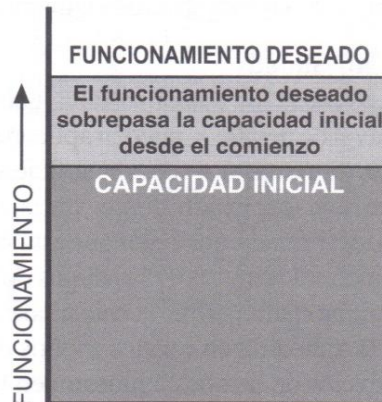
Figura 11. Modos de falla categoría 2



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 64.

- *Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere:* como ya se dijo, para que un activo sea mantenible, el funcionamiento deseado debe estar dentro del rango de su capacidad inicial. De hecho, la mayoría de los activos están diseñados bajo este concepto. No obstante, surgen situaciones en las que el funcionamiento deseado está fuera el rango de capacidad inicial desde el comienzo.

Figura 12. Modos de falla categoría 3



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 67.

d) ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?

- **Efectos De Falla**

El cuarto paso en el proceso *RCM* consiste en hacer una lista de lo que de hecho sucede al producirse cada modo de falla, lo que es denominado efectos de falla y se define de la siguiente manera: los efectos de falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla.

Nótese que efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿qué ocurre?, mientras que una consecuencia de falla responde a la pregunta ¿Qué importancia tiene?

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de las fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia (si la hubiese) de que se ha producido la falla
- Las maneras (si las hubiese) en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente
- Las maneras (si las hubiese) en que afecta a la producción o a las operaciones
- Los daños físicos (si los hubiese) causados por la falla
- Qué debe hacerse para reparar la falla

Se debe tener en cuenta que uno de los principales objetivos de este ejercicio es establecer si es necesario el mantenimiento proactivo. Para hacerlo correctamente, no se puede empezar suponiendo que se está realizando ya algún tipo de mantenimiento proactivo; por ello los efectos de las fallas deben describirse como si no se estuviera haciendo nada para impedirlos.

- **Evidencia de la falla**

Los efectos de las fallas deben describirse de tal forma que permita a los analistas de *RCM* decidir si en circunstancias normales, será evidente para los operarios la pérdida de función causada por ese modo de falla actuando por sí solo, queriendo esto decir que la descripción debe indicar si la falla hace que se enciendan alarmas luminosas, sonoras o ambas, y si el aviso se produce en un panel local o en una sala de control, etc.

De igual forma la descripción debe indicar si la falla va acompañada o precedida por efectos físicos obvios, tales como ruidos fuertes, incendio, humo, fugas de vapor, de aceites, olores extraños o manchas de líquidos en el suelo. También se debe indicar si la máquina se detiene como consecuencia de la falla.

Cuando se describen los efectos de falla, no debe prejuizarse la evaluación de las consecuencias de las fallas usando palabras como “*oculto*” o “*evidente*”. Esto es parte del proceso de evaluación de las consecuencias, y si se usa de manera prematura podría influir incorrectamente sobre esa evaluación. Finalmente, si se trata de dispositivos de protección, la descripción debe indicar brevemente que pasaría si falla el dispositivo protegido al mismo tiempo que el dispositivo protector o de seguridad.

El diseño de las plantas industriales modernas ha evolucionado de tal forma que sólo una pequeña proporción de los modos de falla presentan una amenaza directa para la seguridad o el medio ambiente. No obstante, si existe una posibilidad de que alguien se lesione o muera como consecuencia directa de una falla, o que se infrinja una normativa o reglamento del medio ambiente, la redacción del efecto de la falla debe explicar cómo esto podría ocurrir. Algunos ejemplos incluyen:

- Incremento del riesgo de incendio o explosiones
- Escape de productos químicos peligrosos (gases, líquidos o sólidos)
- Electrocutación
- Caída de objetos
- Explosiones o estallidos, especialmente en recipientes presurizados y sistemas hidráulicos
- Exposición a materiales muy calientes o fundidos
- Desintegración de grandes componentes rotativos
- Accidentes vehiculares
- Exposición a objetos cortantes o máquinas en movimiento
- Incremento en los niveles de ruido
- Colapso de estructuras
- Crecimiento bacteriano
- Inundaciones

Al hacer la lista de efectos, no se debe prejuzgar la evaluación de las consecuencias de la falla haciendo declaraciones como “*esta falla puede perjudicar la seguridad*”, ni “*esta falla afecta al medio ambiente*”. Simplemente indicar lo que sucede, y dejar la evaluación de las consecuencias hasta la etapa siguiente del proceso *RCM*.

- **Daños secundarios y Efectos en la producción**

La descripción de los efectos de falla debe aportar la máxima claridad posible para determinar cuáles son las consecuencias operacionales y no operacionales de la misma. Para hacer esto, debe indicarse como y durante cuánto tiempo queda afectada la producción (si es que resulta afectada). Generalmente esto tiene que ver con el tiempo de parada de la máquina ocasionada por la falla.

Figura 13. Tiempo de parada de máquina Vs. Tiempo de reparación



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 79.

En este contexto, el tiempo de parada de la máquina es el tiempo total durante el cual la máquina probablemente permanecerá fuera de servicio, va desde el momento en que se produce la falla hasta el momento en que la máquina vuelve nuevamente a ser operativa.

Como se indica en la figura 13, esto generalmente es mucho más que el tiempo neto de reparación. El tiempo de parada de la máquina puede variar mucho entre distintas ocasiones en que se da la misma falla, como por ejemplo si la falla ocurre en un turno de noche o en fin de semana. Las consecuencias más serias generalmente son causadas por las paradas más largas. El tiempo muerto que se registra en la hoja de información debe basarse en el peor caso típico.

Si la falla afecta las operaciones, es más importante establecer el tiempo muerto que el tiempo medio de reparación (*MTTR*), por dos razones:

- En la mente de muchas personas, las palabras “*tiempo de reparación*” tienen el significado que se muestra en la figura 13. Si esto se usa en vez

de “tiempo muerto”, podría impedir la subsecuente asignación de consecuencias operacionales de la falla.

- Se debe basar la asignación de consecuencias sobre el peor caso típico y no en el promedio como se dijo anteriormente.

Si la falla no causa interrupción en el proceso, debe ser registrado el tiempo promedio que toma reparar la falla. Esto puede ayudar a establecer los requerimientos de mano de obra.

Además del tiempo muerto, se debe listar cualquier otra forma mediante la cual la falla podría tener un efecto significativo sobre la capacidad operacional del activo. Las posibilidades incluyen:

- Cómo y cuánto afecta la calidad del producto y el servicio al cliente, y de ser así, que penalidades financieras origina.
- Si la falla lleva a un incremento del costo operativo total además del costo directo de reparación (como por ejemplo costos de energía más altos)
- Que daños secundarios(si existe alguno) son causados por la falla
- La hoja de información se completa registrando en la última columna los efectos de falla como se muestra en la figura 14.

Figura 14. Hoja de información de RCM

HOJA DE INFORMACIÓN RCM FLOTA DE CARGADORES 990 MANTENIMIENTO MINA				
ELEMENTO	Cargador 990 II	FECHA		
COMPONENTE	SISTEMA MOTRIZ	REALIZADO POR		
FUNCIÓN	¿ALLA FUNCIONA?	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA	
1	A	No proporciona torque	1 Ausencia de combustible en el motor	Ver análisis del sistema de combustible
			2 Ausencia de voltaje de 24 voltios	Ver análisis del sistema eléctrico
			3 ECM del motor dañado	Ver análisis del sistema eléctrico
			4 Sistema de combustible dañado	Ver análisis de la función 9
			5 Falla en sistema de lubricación externa	Ver análisis de la función 17
			6 Ausencia de aceite	Ver análisis de la función
			7 Sistema de admisión dañado	Ver análisis del sistema de admisión, función
			8 Pistón agarrotado por falta de lubricación	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto esta disponible en bodega. En caso de que el motor no esta disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días. El agua pasa a la cámara de combustión produciéndose un bloqueo hidráulico que detiene el motor,

- **Consecuencias de Falla**

Anteriormente se ha dado respuesta a las cuatro primeras preguntas, se mostró como se llena la hoja de información *RCM* para documentar las funciones del activo que está en análisis, cómo listar las fallas funcionales asociadas, los modos de falla y sus efectos.

Las últimas tres preguntas se refieren a cada modo de falla individual. Ahora se analizará la quinta pregunta: ***¿De qué manera importa cada falla?***

- **Técnicamente factible y merecer la pena**

Cada vez que ocurre una falla en un activo físico, afecta de alguna manera a la empresa que lo utiliza. Algunas fallas afectan la producción, la calidad del producto, otras presentan un riesgo para la seguridad o el medio ambiente. Algunas incrementan los costos operativos como la energía, mientras que algunas tienen impacto en todas las áreas antes mencionadas. Si cualquiera de estas fallas no es prevenida, el tiempo y esfuerzo que se necesitan para repararlas también afecta a la organización, porque la reparación de fallas consume recursos que podrían ser mejor aprovechados en otras tareas más rentables.

La naturaleza y gravedad de estos efectos definen la manera en que los usuarios de los activos creerán que cada falla es importante. Nótese que los efectos de la falla describen *qué sucede* cuando ocurre una falla, mientras que las consecuencias describen *cómo y cuánto importa*. Entonces se puede decir que si se pueden reducir los efectos de una falla en términos de frecuencia y/o severidad, se estará reduciendo sus consecuencias.

Este enfoque sobre las consecuencias hace que *RCM* comience el proceso de selección de tareas asignando los efectos a cada modo de falla y clasificándolos dentro de cada una de las cuatro categorías definidas por *RCM*: evidencia del fallo, consecuencias para la seguridad o medio ambiente, consecuencias operacionales y consecuencias no operacionales.

El próximo paso es encontrar una tarea proactiva que sea físicamente posible de realizar y que permita hacer una tarea que reduzca las consecuencias de la falla hasta el punto que sea tolerable para el dueño o usuario del activo. Si se puede encontrar dicha tarea, se dice que es *técnicamente factible*. Si una tarea es técnicamente factible, se puede entonces pasar al tercer paso en el cual se pregunta si realmente la tarea reduce las consecuencias de la falla a un punto que justifique los costos directos e indirectos de hacerla. Si la respuesta a esta pregunta es sí, se dirá que la tarea merece la pena.

Se dice entonces que una tarea proactiva merece la pena si reduce las consecuencias del modo de falla asociado a un grado tal que justifique los costos directos e indirectos de hacerla. Ahora se considerarán los criterios utilizados para evaluar las consecuencias de la falla, y así decidir si merece la pena realizar algún tipo de tarea proactiva. Estas consecuencias se dividen en cuatro categorías en dos etapas distintas. La primera etapa separa las funciones ocultas de las funciones evidentes y la segunda clasifica las funciones evidentes.

- **Funciones ocultas y evidentes**

Se ha visto que todo activo tiene más de una, y a veces docenas de funciones. Cuando la mayoría de estas funciones fallan, se hace inevitablemente evidente que ha ocurrido una falla. Algunas de estas, activan luces de emergencia, alarmas sonoras o ambas, otras hacen que se paren las máquinas o que se interrumpa alguna otra parte del proceso, otras dan lugar a problemas de calidad del producto o a un incremento de consumo de recursos y otras van acompañadas de efectos físicos obvios tales como ruidos fuertes, olores extraños o manchas de líquidos en el piso.

Las fallas de este tipo se clasifican en evidentes porque tarde o temprano alguien se dará cuenta cuando se producen por sí solas. Por lo cual se puede decir que una función evidente es aquella que eventualmente e inevitablemente se hará evidente por sí sola a los operadores en circunstancias normales de operación.

No obstante, algunas fallas ocurren de tal forma que nadie sabe que el elemento se ha averiado a menos que se produzca otra falla. Se define entonces función oculta como aquella cuya falla no se hará evidente a los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí sola.

- **Categorías de fallas evidentes**

Las fallas evidentes se clasifican en tres categorías de importancia decreciente:

- **Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente:** una falla tiene consecuencias para la seguridad si se puede lesionar o matar a alguien. Tiene consecuencias para el medio ambiente si puede infringir alguna normativa relativa al medio ambiente de carácter corporativo, regional o nacional.
- **Consecuencias operacionales:** una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción o las operaciones (volumen de producción, calidad del producto, costo operacional, costo directo de reparación)

- **Consecuencias no operacionales:** las fallas evidentes que están en esta categoría no afectan la seguridad ni la producción, de modo que sólo involucran el costo directo de la reparación.

Con esta jerarquización de las fallas evidentes, *RCM* garantiza que se consideren las repercusiones a la seguridad y el medio ambiente en todo modo de falla evidente. Mediante este enfoque *RCM* inequívocamente coloca a las personas antes que a la producción.

- **Factibilidad Técnica y Tareas Preventivas**

Las acciones que pueden tomarse para manejar las fallas pueden dividirse en dos categorías:

- **Tareas proactivas:** estas tareas se llevan a cabo antes de que ocurra una falla. Con el objetivo de prevenir que el componente llegue a un estado de falla. Abarcan lo que comúnmente se denomina mantenimiento predictivo y preventivo, aunque *RCM* utiliza los términos *reacondicionamiento cíclico*, *sustitución cíclica* y *mantenimiento a condición*.
- **Acciones a falta de:** estas tratan con el estado de falla y son elegidas cuando no es posible identificar una tarea proactiva efectiva. Las acciones a falta de incluyen búsqueda de falla, rediseño y mantenimiento correctivo.

Las dos categorías anteriores corresponden a la sexta y séptima pregunta del proceso de decisión de *RCM*.

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir la falla?

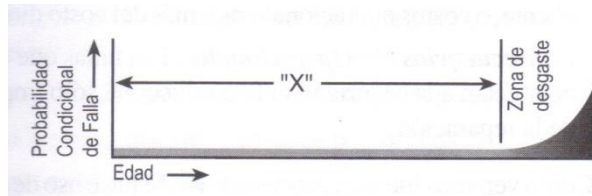
¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

- **Tareas Proactivas**

En la actualidad muchas personas creen que la mejor manera de optimizar la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento proactivo de rutina.

El pensamiento de la segunda generación sugería grandes reparaciones, o reposición de componentes a intervalos fijos. La figura 15 muestra la perspectiva de la falla a intervalos regulares.

Figura 15. Perspectiva tradicional de la falla

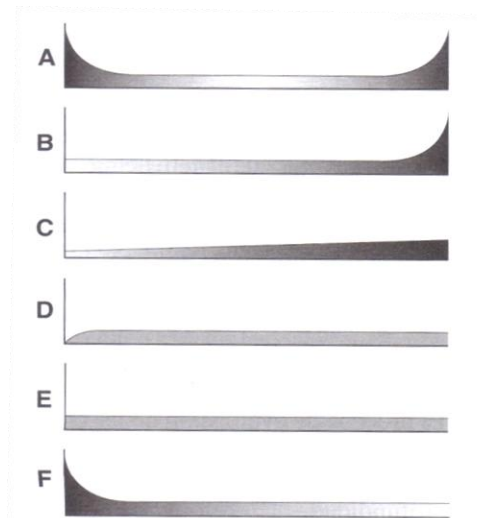


Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 12.

La figura 15 se basa en la presunción de que la mayoría de los equipos operan confiablemente un período X, y luego se desgastan. El pensamiento clásico sugiere que los registros extensivos acerca de las fallas permiten determinar y planear acciones preventivas un tiempo antes de que ellas ocurran. Este patrón es cierto para algunos tipos de equipos simples, y para algunos ítems complejos con modos de falla dominantes. En particular las características de desgaste se encuentran a menudo en casos en los que el equipo tiene contacto directo con el producto. Las fallas relacionadas con la edad frecuentemente son asociadas a la fatiga, corrosión, abrasión y evaporación.

Sin embargo, los equipos en general son mucho más complejos de lo que eran hace veinte años atrás. Esto ha traído consigo sorprendentes cambios en los patrones de falla, como se muestra en la figura 16. Los gráficos muestran la probabilidad condicional de la falla con relación a la edad operacional para una variedad de elementos mecánicos y eléctricos.

Figura 16. Seis patrones de falla



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 12.

El patrón A es la curva de la bañera. Comienza con una gran incidencia de fallas llamada mortalidad infantil, seguida por un incremento constante o gradual de la probabilidad condicional de falla, y por último una zona de desgaste.

El patrón B muestra una probabilidad condicional de falla constante o de lento incremento, y que termina en una zona de desgaste.

El patrón C muestra una probabilidad condicional de falla que crece lentamente, pero no tiene una edad de desgaste claramente identificable.

El patrón D muestra una baja probabilidad condicional de falla cuando el equipo es nuevo o recién salido de fábrica y luego un veloz incremento a un nivel constante.

El patrón E muestra una probabilidad condicional de falla constante a todas las edades por igual, o sea que falla al azar.

El patrón F comienza con una alta mortalidad infantil que finalmente cae a una probabilidad de falla constante o que asciende muy lentamente.

Como ya se mencionó, *RCM* divide las tareas en tres categorías:

- **Tareas de reacondicionamiento cíclico y sustitución cíclicas:** el reacondicionamiento cíclico implica refabricar un componente o reparar un conjunto antes de un límite de edad específico sin importar su condición en ese momento. De manera parecida, las tareas de sustitución cíclica implican sustituir un componente antes de un límite de edad específico, más allá de su condición en ese momento.

En conjunto estos dos tipos de tareas son conocidos generalmente como mantenimiento preventivo.

- **Tareas a condición:** el crecimiento de nuevos tipos de manejo de falla se debe a la continua necesidad de prevenir ciertos tipos de falla, y la creciente ineficacia de las técnicas clásicas para hacerlo. La mayoría de las nuevas técnicas se basan en el hecho de que la mayoría de las fallas dan algún tipo de advertencia de que estas van a ocurrir. Estas advertencias se denominan fallas potenciales, y se definen como condiciones físicas identificables que indican que una falla funcional está por ocurrir o están en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas son utilizadas para detectar fallas potenciales y permitir actuar evitando las posibles consecuencias que surgirían si se transformaran en fallas funcionales. Se llaman tareas a condición por que los componentes se dejan en servicio a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento deseados.

Acciones “a falta de”

RCM reconoce tres grandes categorías de acciones “a falta de”:

- **Búsqueda de fallas:** las tareas de búsqueda de falla implican revisar periódicamente funciones ocultas para determinar si han fallado mientras que las tareas basadas en la condición implican revisar si algo está por fallar.
- **Rediseño:** rediseñar implica hacer cambios de una sola vez a las capacidades iniciales de un sistema. Esto incluye modificaciones al equipo y también cubre los cambios de una sola vez a los procedimientos.
- **Ningún mantenimiento programado:** como su nombre lo indica, aquí no se hace esfuerzo alguno en tratar de anticipar o prevenir los modos de falla y se deja que la falla simplemente ocurra, para luego repararla. Esta tarea **a falta de** también es llamada mantenimiento a rotura.

El proceso de selección de tareas de *RCM*

Un punto fuerte del *RCM* es la manera en que provee criterios simples, precisos y fáciles de entender, para decidir cuál de las tareas proactivas es técnicamente factible en el contexto operacional dado, y para decidir quién debería hacerlas y con qué frecuencia. Si una tarea proactiva es técnicamente factible o no, está determinado por características técnicas de la tarea y de la falla que pretende definir. Si vale la pena hacerlo o no depende de la manera en que maneja las consecuencias de la falla. De no hallarse una tarea proactiva que sea técnicamente factible y que valga la pena hacerse, entonces debe tomarse una acción a falta de adecuada.

La esencia del proceso de selección de tareas es el siguiente:

- **Para fallas ocultas:** la tarea proactiva vale la pena si reduce significativamente el riesgo de falla asociado con esa función a un nivel tolerablemente bajo. Si esto no es posible, debe realizarse una tarea de búsqueda de falla de no hallarse una tarea de búsqueda de falla que sea adecuada, la decisión a falta de secundaria indicará que el componente pueda ser rediseñado.
- **Para fallas con consecuencias ambientales o para la seguridad:** una tarea proactiva sólo vale la pena si por sí sola reduce el riesgo de falla a un nivel muy bajo, o directamente lo elimina. Si no puede encontrarse una tarea reduzca el riesgo a niveles aceptablemente bajos, entonces el componente debe ser rediseñado o debe cambiarse el proceso.

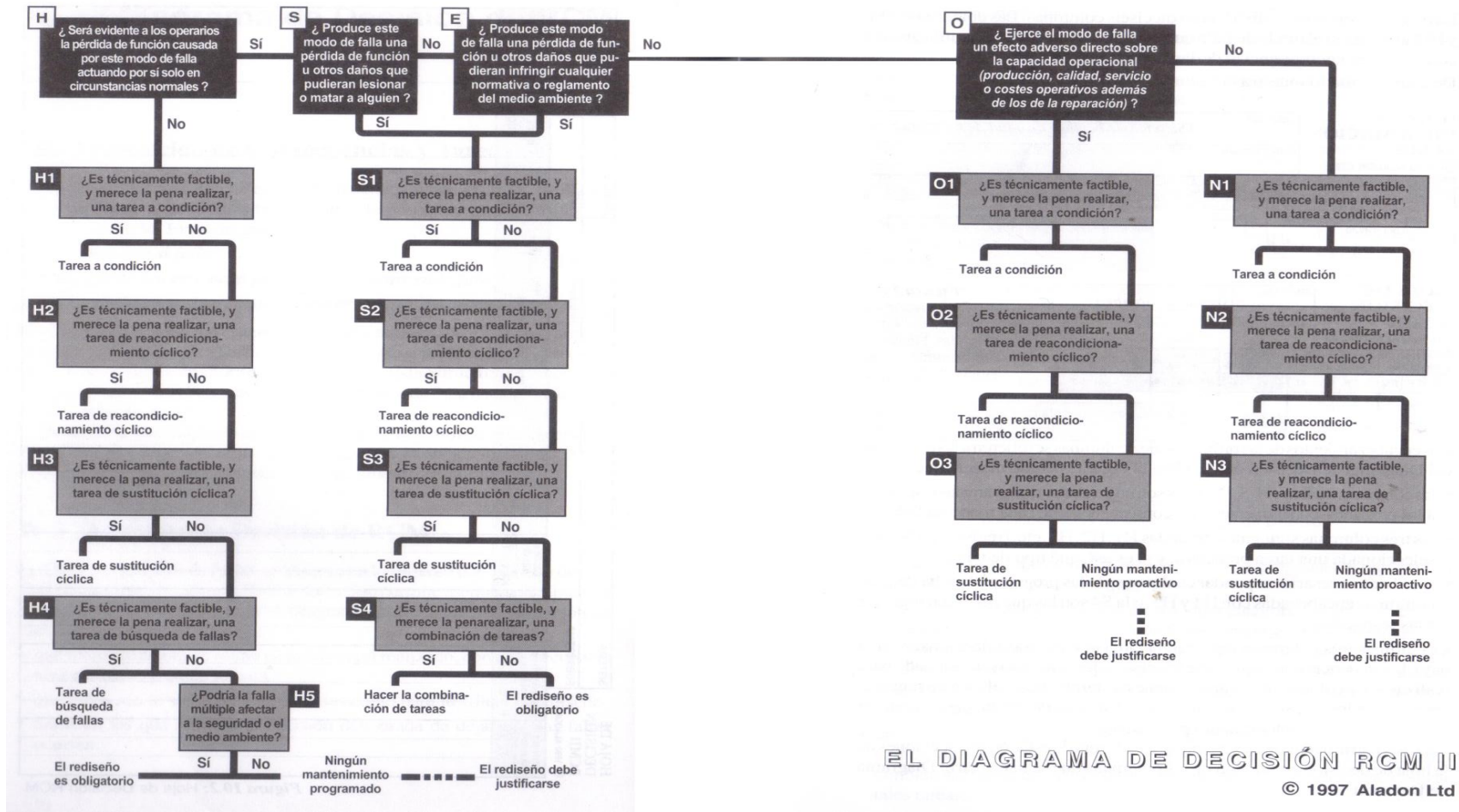
- **Para fallas con consecuencias operacionales:** una tarea proactiva sólo vale la pena si el costo total de realizarla a lo largo de un cierto período de tiempo es menor al costo de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación en el mismo período de tiempo. En otras palabras, la tarea debe tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es ningún mantenimiento programado. Si esto ocurre y las consecuencias operacionales siguen siendo aceptables, entonces la decisión a falta de secundaria es nuevamente el rediseño.
- **Para fallas con consecuencias no operacionales:** solo vale la pena una tarea proactiva si el costo de la tarea a lo largo de un período de tiempo es menor al costo de reparación en el mismo tiempo. Entonces estas tareas también deben tener justificación en el terreno económico. Si no se justifica, la decisión a falta de inicial es otra vez ningún mantenimiento programado, y si los costos son demasiado elevados entonces la siguiente decisión a falta de secundaria es nuevamente rediseño.

Este enfoque significa que las tareas proactivas son sólo definidas para las fallas que realmente lo necesitan, lo que a su vez lleva a reducciones sustanciales en cargas de trabajo de rutina. Un menor trabajo de rutina también significa que es más probable que las tareas restantes sean realizadas correctamente. Esto, sumado a la eliminación de tareas contraproducentes lleva a un mantenimiento más efectivo.

Tradicionalmente, los requerimientos de mantenimiento de cada activo son definidos en términos de sus características técnicas reales o asumidas, sin considerar las consecuencias de la falla. El programa resultante es utilizado para todos los activos similares, nuevamente sin considerar que se aplican a diferentes consecuencias en diferentes contextos operacionales. Esto tiene como resultado un gran número de programas desperdiciados, no porque estén mal en el sentido técnico, sino porque no logran ningún resultado.

Figura 18. Diagrama de decisión

Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 204-205.



Los encabezamientos de las próximas 10 columnas se refieren a las preguntas del diagrama de decisión de RCM, de manera que:

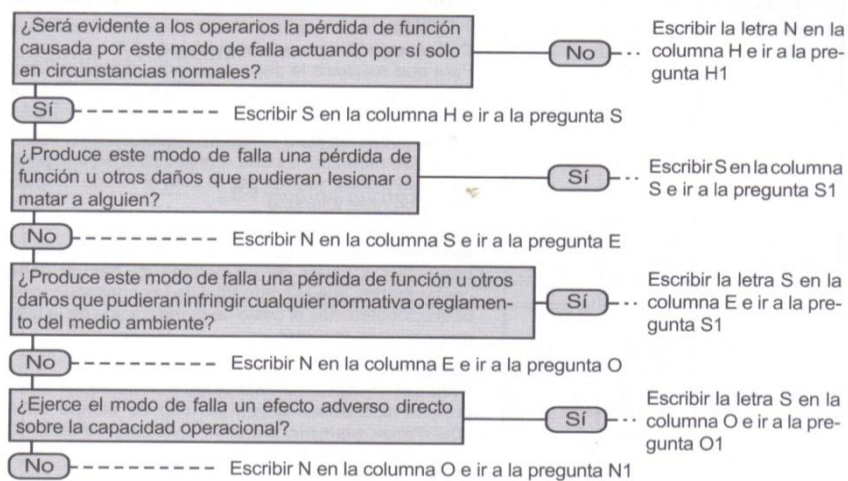
- Las columnas tituladas H (fallo oculto), S (seguridad), E (medio ambiente), O (operacional) y N (no operacional), son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.
- Las tres columnas siguientes, H1, H2, H3, etc., registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, de que tipo es.
- Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4 son las que permiten registrar esas respuestas.

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencias con la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla. La columna de tareas propuestas también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño, o si se ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

3.1 CONSECUENCIAS DE FALLA

Las preguntas para H, S, E, y O se hacen para cada modo de falla, y las respuestas son registradas en la hoja de decisión basándose en lo que a continuación muestra la figura 20.

Figura 20. Como se registran las consecuencias de falla en la hoja de decisión



Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 207.

La figura 21 muestra como las respuestas a estas preguntas se registran en la hoja de decisión. Nótese que:

- Cada modo de falla es ubicado en solo una categoría de consecuencias. Entonces, si es clasificado como que tiene consecuencias ambientales, no se evalúan también sus consecuencias operacionales. Esto significa que, por ejemplo, si se registra una “S” en la columna E, no se registra nada en la columna O.
- Una vez que las consecuencias del modo de falla han sido categorizadas, el próximo paso es buscar una tarea proactiva adecuada. La figura 21 también resume el criterio utilizado para decidir si merece la pena realizar tales tareas.

Figura 21. Consecuencias de falla

Referencia de información			Evaluación de consecuencias				
F	FF	FM	H	S	E	O	
3	A	1	N				Una falla oculta: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
5	B	2	S	S			Consecuencias para la seguridad: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
2	C	4	S	N	S		Consecuencias para el medio ambiente: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva debe reducir por sí sola el riesgo de esta falla a un nivel tolerable
1	A	5	S	N	N	S	Consecuencias operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un período de tiempo debe costar menos que el costo total de las consecuencias operacionales más el costo de la reparación de la falla que pretende prevenir
1	B	3	S	N	N	N	Consecuencias No-operacionales: Para que merezca la pena realizarla, cualquier tarea preventiva a través de un período de tiempo debe costar menos que el costo de la reparación de las fallas que pretende prevenir

Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 208.

3.2 TAREAS PROACTIVAS

Las columnas de la octava a la décima son utilizadas para registrar si se ha seleccionado una tarea proactiva, de la siguiente manera:

- La columna titulada H1/S1/O1/N1 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias

- La columna titulada H2/S2/O2/N2 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento programado apropiada para prevenir fallas
- La columna titulada H3/S3/O3/N3 es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

En cada caso, una tarea sólo es apropiada si merece la pena realizarla y si es técnicamente factible. En esencia, para que una tarea sea técnicamente factible y que merezca la pena realizarla, debe ser posible dar una respuesta positiva a todas las preguntas que muestra la figura 21 que se aplican a esa categoría de tareas, y la tarea debe responder al criterio de “merece la pena ser realizada” de la figura 20.

Si la respuesta a cualquiera de estas preguntas es “no” o se desconoce, entonces se rechaza la tarea totalmente. Si todas las preguntas pueden ser contestadas afirmativamente, entonces se registra una “S” en la columna apropiada.

Figura 22. Criterios de factibilidad técnica

H1	H2	H3
S1	S2	S3
O1	O2	O3
N1	N2	N3
S		
N	S	
N	N	S

¿Es técnicamente factible realizar una tarea para detectar si está ocurriendo una falla o está a punto de ocurrir? :
 ¿Hay alguna clara condición de falla potencial? ¿Cuál es?
 ¿Cuál es el intervalo P-F? ¿Es suficientemente largo como para ser de utilidad? ¿Es razonablemente consistente? ¿Es posible hacer la tarea a intervalos menores al intervalo P-F?

¿Es técnicamente factible realizar una tarea de reacondicionamiento programado para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso en que afecte la seguridad)?
 ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)? ¿Restituirá la tarea la resistencia original a la falla?

¿Es técnicamente factible realizar una tarea de sustitución cíclica para reducir la frecuencia de la falla (evitar todas las fallas en el caso de que afecte a la seguridad)?
 ¿Hay una edad en la que aumenta rápidamente la probabilidad condicional de falla? ¿Cuál es? ¿Ocurren la mayoría de las fallas después de esta edad (todos en el caso de consecuencias para la seguridad o el medio ambiente)?

Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 209.

Si se selecciona una tarea, se registra una descripción de la tarea y la frecuencia con la que debe ser realizada y los analistas avanzan al próximo modo de falla.

3.3 LAS PREGUNTAS “A FALTA DE”

Las columnas H4, H5 y S4 en la hoja de decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”. En la figura 23 se resume cómo se responde a estas preguntas. Nótese que las preguntas “a falta de” sólo se hacen si las respuestas a las tres preguntas previas fueron todas “no”.

Figura 23. “Preguntas a falta de”

Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1	H2	H3	Acción a falta de					
F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	O1	O2	O3	H4	H5	S4
							N1	N2	N3						
3	A	1	N				N	N	N	S					
													¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una tarea de búsqueda de falla?		
Registrar “si”, si es posible realizar la tarea y resulta práctico hacerlo con la frecuencia requerida y reduce el riesgo de la falla múltiple a un nivel tolerable.															
4	B	4	N				N	N	N	N	S				
4	C	2	N				N	N	N	N	N				
													¿Podría la falla múltiple afectar la seguridad o el medio ambiente?		
(Sólo se hace esta pregunta si la respuesta a la pregunta H4 es no.) Si la respuesta a esta pregunta es si, el rediseño es obligatorio. Si la respuesta es no, la acción “a falta de” es no realizar mantenimiento programado , pero el rediseño puede ser deseable.															
5	B	2	S	S			N	N	N				S		
2	A	5	S	S			N	N	N				N		
													¿Es técnicamente factible y merece la pena realizar una combinación de tareas?		
“Si”, si una combinación de dos o más tareas proactivas cualquiera reducen el riesgo de falla a un nivel tolerable (esto rara vez sucede). Si la respuesta es no, el rediseño es obligatorio.															
1	A	5	S	N	N	Y	N	N	N						
1	B	3	S	N	N	N	N	N	N						
													En estos dos casos, las consecuencias de la falla son puramente económicas y no se pudo encontrar una tarea proactiva apropiada. Como resultado, la decisión “a falta de” inicial es no realizar mantenimiento programado, pero el rediseño puede ser deseable .		

Fuente: MOUBRAY ALADON, John Y. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008. p. 210.

3.4 TAREA PROPUESTA

Si durante el proceso de toma de decisiones se ha seleccionado una tarea proactiva o una tarea de búsqueda de falla, debe registrarse la descripción de la tarea en la columna titulada “tarea propuesta”. Lo ideal es que la tarea fuese descrita con el mismo detalle y precisión en la hoja de decisión como en el documento que se le entregará a la persona que deba realizar la tarea.

Si el proceso de decisión lleva a un cambio de diseño, entonces la tarea propuesta debe proveer una descripción breve del cambio de diseño. La forma real del nuevo diseño debe dejarse en mano de los diseñadores.

Finalmente, si debe tomarse una decisión de permitir que ocurra una falla, en la mayoría de los casos debe registrarse en la columna de “tarea propuesta” la frase “ningún mantenimiento programado”.

3.5 FRECUENCIA INICIAL

La frecuencia para realizar las tareas es tomada de la experiencia que tienen los técnicos de mantenimiento, en estos intervalos de tiempo se tienen en cuenta factores como repuestos, tipo de turno, o sea si es diurno o nocturno, desplazamientos, etc.

3.6 A REALIZAR POR

La última columna de la hoja de decisión se utiliza para anotar quién debe hacer cada tarea. Nótese que el proceso de *RCM* considera este tema para un modo de falla a la vez. En otras palabras, no aborda el tema con Ninguna idea preconcebida acerca de quién debe o no hacer el trabajo de mantenimiento. Simplemente pregunta quién es competente y confiable como realizar correctamente la tarea.

La respuesta puede ser absolutamente cualquiera. Las tareas pueden ser adjudicadas a mantenimiento, operadores, inspectores de seguro, personal de calidad, técnicos especializados, proveedores, inspectores de estructuras o técnicos de laboratorio.

3.7 QUE SE LOGRA CON *RCM*?

- **Mayor seguridad e integridad ambiental:** *RCM* considera las implicaciones ambientales y para la seguridad de cada patrón de falla antes de considerar su efecto en las operaciones. Esto significa que se actúa para minimizar o eliminar todos los riesgos identificables relacionados con la seguridad de los equipos y el medio ambiente. Al incorporar la seguridad a la toma de decisiones de mantenimiento, el *RCM* también mejora la actitud de las personas en relación con este tema.
- **Mejor funcionamiento operacional (cantidad, calidad de producto y servicio al cliente):** *RCM* reconoce que todos los tipos de mantenimiento tienen algún valor y provee reglas para decidir cuál es el más adecuado en

cada situación. De esta manera se asegura que sólo se elegirán las formas de mantenimiento más efectivas para cada activo físico, que se tomarán las medidas necesarias en los casos que el mantenimiento no pueda ayudar. Este esfuerzo de ajustar y focalizar el mantenimiento lleva a grandes mejoras en el desempeño de los activos físicos existentes donde se las requiere.

- **Mayor costo-eficacia del mantenimiento:** *RCM* continuamente focaliza su atención en las actividades de mantenimiento que tienen mayor efecto en el desempeño de la planta. Esto ayuda a asegurar que todo lo que se gasta para mantenimiento se invierta en las áreas en las que pueda tener los mejores resultados.
- **Mayor motivación personal:** especialmente las personas involucradas en el proceso de revisión. Esto lleva a un mayor entendimiento general del activo en su contexto operacional, junto con un sentido de pertenencia más amplio de los problemas de mantenimiento y sus soluciones.
- **Mejor trabajo en equipo:** provee un lenguaje técnico que es fácil de entender para cualquier persona que tenga alguna relación con el mantenimiento. Esto da al personal de mantenimiento y de operaciones un mejor entendimiento de lo que el mantenimiento puede y de lo que no puede lograr, y qué debe hacerse para lograrlo.

4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA RCM

Para iniciar con el proceso es necesario tener muy claro el contexto en el que opera el equipo, pues existen variantes que hacen que cada proceso sea único dependiendo de las condiciones en las que se desempeñe el componente a analizar, entre dichas condiciones se encuentran algunas como el clima, terreno, ubicación geográfica, etc., pues estas juegan un papel importantísimo a la hora de tomar decisiones que afectan directamente las tareas que se obtienen durante la aplicación de la metodología. Como primer paso se redactará el contexto operacional en el cual se desempeñan los cargadores, este es descrito a continuación.

4.1 CONTEXTO OPERACIONAL CARGADOR 990 II

CARGADOR CAT 990 II

Proceso de cargue mineral

Para el proceso de cargue se utilizan cargadores frontales de ruedas Caterpillar modelo CAT 990II.



Figura 24. Cargador CAT 990

Los cargadores frontales CAT 990 se utilizan para la alimentación de mineral al proceso en un área llamada patio de cargue, se utilizan dos equipos que toman el

mineral distribuido en diferentes pilas de almacenamiento y lo descargan en una tolva, donde a través de bandas transportadoras es enviado hasta una trituradora y de esta manera alimentan el proceso de producción.

Los cargadores son asignados a diferentes labores de acuerdo a un programa de producción y un plan de producción diaria.

Dos cargadores son asignados a labores de cargue en los frentes distribuidos en la mina de acuerdo al plan de apilamiento y al plan diario de producción, bajo estas condiciones uno de ellos normalmente opera en los frentes de cargue mientras el cargador restante se encuentra en el taller en mantenimiento.

Condiciones de operación

En el patio de cargue se requiere que el cargador cargue 9,2 metros cúbicos.

En los frentes de cargue distribuidos en los patios, se requiere que la máquina alimente camiones con un ciclo promedio de 15 seg, en operación normal de 8 horas, tres turnos por día. En condiciones de lluvia y tormentas eléctricas se tiene prohibido trabajar con los equipos móviles, por lo tanto la operación se detiene.

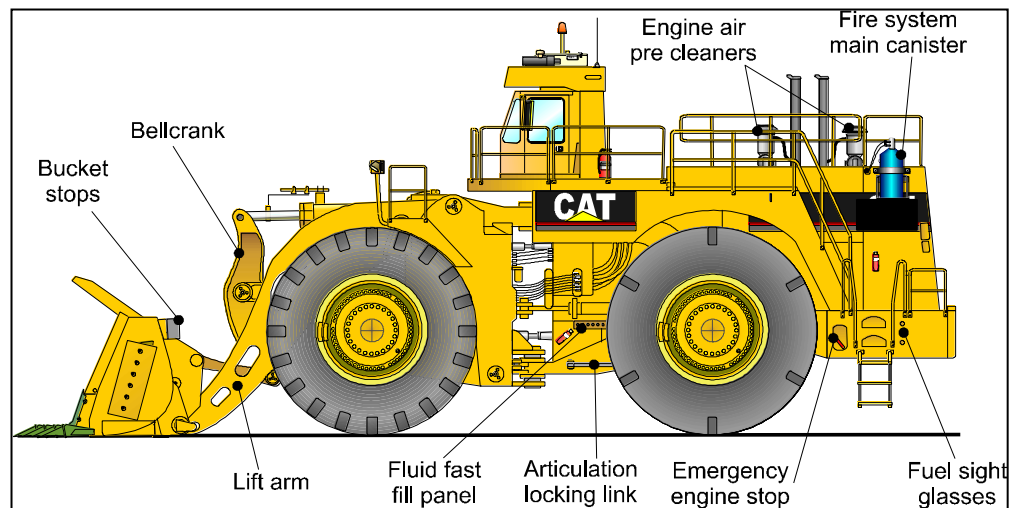


Figura 25. Esquemático del cargador CAT 990

El cargador sirve para recoger y descargar el material sobre camiones, piso y banda transportadora, con una capacidad de 9.2 metros cúbicos. Para ello está provisto de los elementos que le proporcionan potencia para trasladarse, atacar el

material, levantar material, bajar el cucharon, inclinar el cucharon y realizar giros direccionales.

En la figura siguiente se observan las entradas y salidas del proceso de operación de un cargador CAT 990.

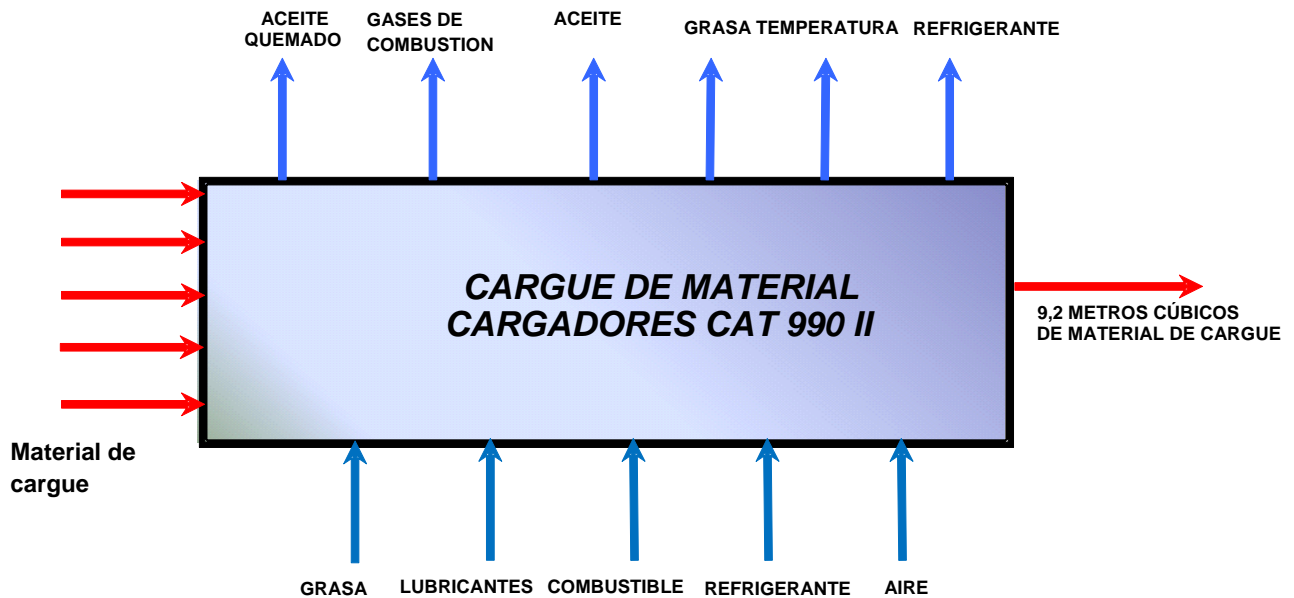
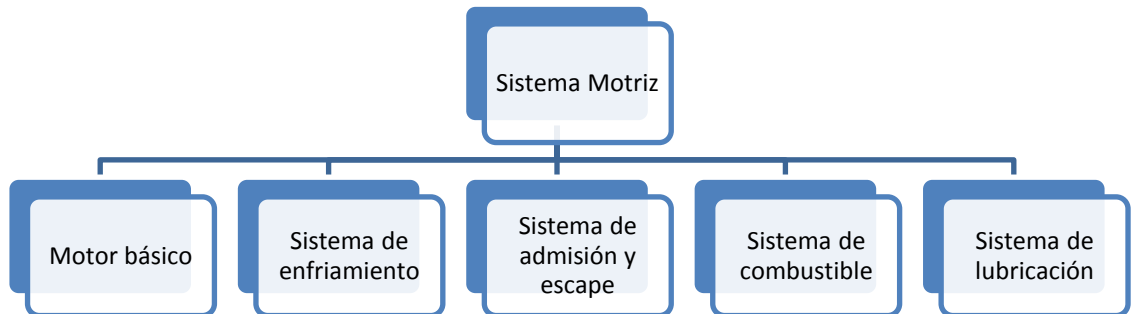


Figura 26. Diagrama de entradas y salidas

Este equipo se compone de varios sistemas que son: sistema motriz, sistema de tren de potencia, sistema de dirección, sistema eléctrico y electrónico, sistema hidráulico, sistema de frenos, sistema de engrase, sistema de accesorios y sistema estructural.

1. DIAGRAMA DE BLOQUES SISTEMA MOTRIZ



El cargador posee un motor que es capaz de proporcionar una potencia mecánica de 625 HP a 2000 RPM que permite realizar movimientos de traslación y los movimientos del sistema hidráulico.

4.1 MOTOR BÁSICO

Está compuesto por un motor DIESEL de combustión interna de cuatro tiempos, para los cargadores CAT 990II.

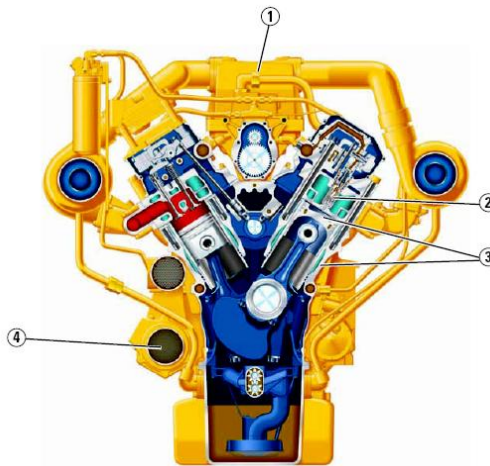


Figura 27. Motor básico cargador

Tiene un diseño de cabezas individuales montadas sobre el monoblock y unidas por un kit de sellado, por cada cilindro, donde van incluidas 2 pares de válvulas de admisión y 2 pares de válvulas de escape, las cuales se deslizan por medio de

guías montadas al cuerpo de la cabeza y sujetadas en el extremo superior por medio de cuñas y resortes, estas válvulas se mueven por medio de balancines que están unidos a las varillas de empuje desde el par de árboles de levas con las que cuenta el motor.

Los 16 cilindros del motor son removibles y van dentro del monoblock, cada uno de los cilindros tiene un sellado metálico flexible en la parte superior y en la parte inferior lleva un juego de sellos anulares flexibles para contener el refrigerante.

Cada uno de los cilindros contiene un pistón, los pistones son de 2 piezas, una de aluminio y la otra de acero, son cónicos con un diámetro menor en la parte superior y el diámetro mayor en la falda inferior, la cabeza del pistón lleva 3 ranuras donde aloja 3 anillos, el anillo superior es de compresión para detener los gases producto de la combustión el segundo es el limpiador que barre el aceite que queda pegado en las caras de la camisa el tercer anillo es para lubricar las paredes del cilindro.

Los anillos tienen una abertura para compensar el sellado con respecto a la temperatura del cilindro.

El pistón esta sujetado a la biela por medio de un pasador el este pasador está retenido a ambos lados por un candado, permitiéndole moverse libremente.

La biela en su parte inferior forma un círculo, la parte inferior del círculo se ajusta por tornillos y dentro del círculo lleva un metal antifricción recubierto de babbit, la parte inferior de la biela esta sujeta al eje cigüeñal y es unido a él con tornillos que llevan determinado torque.

El eje cigüeñal está montado en la bancada principal del monoblock y sujetado por las tapas de las chumaceras principales, las tapas también tienen un metal antidesgaste y se sujetan por medio de tornillos que llevan un determinado torque.

2 de las tapas de las chumaceras del cigüeñal cuentan con metal antidesgaste de juego axial.

En la parte delantera del eje cigüeñal lleva un engrane que transmite movimiento al tren de engranaje de sincronización, este engrane mueve de manera sincronizada el par de engranes de los árboles de levas del motor, este sistema está protegido por una carcasa y un empaque y va atornillada al monobloque.

En la parte delantera del cigüeñal lleva atornillado un aro metálico que evita las vibraciones, producto de la combustión del motor. En la parte trasera del cigüeñal tiene atornillada el volante y al volante en la parte exterior va montado el aro dentado, el este sirve para que el engrane del bendix se acople del motor de

arranque para transmitir las primeras vueltas al motor y el volante también sirve para almacenar energía cuando los pistones no están en tiempo de potencia.

El equipo posee un pedal de aceleración para incrementar o disminuir las RPM del motor, envía una señal proporcional al ECM del motor; adicionalmente está dotado de un sistema automático de aceleración programable para disminuir el cansancio al operar y mejorar el rendimiento de la máquina, mediante tres interruptores instalados en la cabina del operador.

En el ECM de motor te puede enviar cuatro tipos de alarma

- Nivel 1, cuando se activa una señal luminosa eso implica reportar a personal de mantenimiento.
- Nivel 2, cuando se activa la señal luminosa y la luz de acción eso implica cambiar de operación.
- Nivel 2 especial, cuando se activa la señal luminosa, la luz de acción y señal sonora continua, implica cambiar de operación de inmediato.
- Nivel 3, cuando se activa la señal luminosa, la luz de acción y la señal sonora intermitente, implica parar el equipo.

El motor soportado por 4 soportes de caucho que permiten amortiguar la vibración del motor y mantener el motor fijo al chasis para su normal operación.

4.2 SISTEMA DE COMBUSTIBLE

Posee un sistema de combustible que almacena A.C.P.M en un tanque con una capacidad de 220 galones, el nivel de combustible se puede visualizar en el tablero de instrumentos, la señal es enviada a través de un sensor que está instalado internamente en el tanque.

La función del sistema de inyección es alimentar de combustible a las galerías a una presión de 60 psi. Para que el inyector lo atomice en la cámara de combustión.

El combustible es succionado por la bomba de transferencia de piñones desde el tanque, pasa a través del filtro separador de agua de 10 micrones antes de llegar a la bomba, quien lo suministra a través del filtro secundario, este filtra partículas

mayores a 2 micrones hasta llegar finalmente al sistema de inyección (12 inyectores) que pulverizan el combustible a la cámara de combustión y para generar de esta manera la combustión.

A la salida y entrada del tanque de combustible hay dos válvulas de bola de paso que permite bloquear la salida y retorno de combustible.

Posee una válvula de alivio en el sistema de distribución (múltiples) que libera la presión al tanque cuando la presión de combustible está por encima de 65 psi.

Tiene una bomba de cebado manual que permite llenar las líneas y el sistema de combustible cuando hay cambios en los filtros o se realizan intervenciones al sistema.

En el modelo CAT 990H el sistema de combustible cuenta con una bomba eléctrica de cebado de combustible la cual permite llenar los filtros combustible cuando han sido cambiados. La bomba se activa manualmente mediante un interruptor siempre y cuando se encuentre el interruptor de encendido en la posición de cerrado (off).

Existe un sensor de temperatura que está instalado en el múltiple de combustible, envía una señal de temperatura al ECM del motor y puede ser leída a través del ET (Electronic Technician).

El sistema de combustible tiene una bomba de actuación (bomba de pistones) para producir presión de actuación a los inyectores, esta presión va entre 725 y 3000 psi.

Posee un sensor de presión de actuación que mide la presión de actuación a la salida de la bomba, cuando la presión es inferior a 725 psi el ECM corta la corriente a los inyectores y se apaga la máquina.

4.3 SISTEMA DE LUBRICACIÓN

El sistema de lubricación del motor trabaja en condiciones normales de 60 a 65 psi. Cuenta una bomba de engranaje una para lubricar las partes internas del motor, también se usa para sacar el aceite de la parte posterior del recipiente y enviar a la parte frontal del cárter del motor.

La bomba de lubricación debe de ser capaz de hacer circular el aceite por todo el motor. El aceite enfría, limpia y protege las piezas móviles contra el desgaste,

consta de un cárter para aceite del motor con una capacidad de 20 gal de aceite 15W40, el cárter tiene dos compartimientos uno trasero y uno delantero, este aceite es succionado por una bomba de engranajes que bombea a una presión entre 16 psi y 62 psi, esta presión es monitoreada por un sensor de presión de aceite del motor que está instalado en el cuerpo de la bomba de actuación, la señal es enviada al ECM del motor y al CMS, donde puede ser visualizada por el operador.

Adicionalmente, posee un sensor de temperatura de aceite de motor que envía al ECM la información y cuando está por encima de 105 °C se observa una alarma de advertencia de motor y debe detenerse la máquina inmediatamente.

El aceite es enviado a los cojinetes de lubricación del cigüeñal, eje de levas, inyectores de lubricación de los cilindros y engranajes de distribución.

Posee dos filtros de aceite motor que retienen partículas mayores a 2 micrones, luego pasa a través del enfriador de aceite de motor en donde se reduce la temperatura 3 a 8 °C. El aceite circula por las galerías de lubricación y alimenta la bomba de actuación del sistema de combustible.

El cárter posee una válvula que permite evacuar el aceite de motor y tiene como medir el nivel de aceite a través de una varilla medidora instalada en el bloque del motor.

Para succionar y adicionar el aceite al sistema de lubricación el equipo cuenta con conectores rápidos.

4.4 SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE.

Tiene la finalidad de suministrar aire limpio para la combustión dentro de la cámara. Cuenta con dos turbocompresores instalados en cada culata con una presión de refuerzo de 10 psi, los cuales succionan aire de la atmósfera a través de unos espirales ciclónicos (pre-cleaner) que capturan todas las partículas eliminando los contaminantes más pesados y grandes suspendidos en el ambiente, limpian el aire a través de una línea por los gases de escape, dicha línea posee una válvula antiretorno que evita que los gases de escape retornen al sistema de admisión.

El aire luego pasa a través de dos filtros de admisión primarios y dos filtros de admisión secundarios, el primario filtra partículas superiores a 30 micrones y el secundario filtra partículas mayores a 15 micrones.

En la carcasa de los filtros de aire está instalado un indicador de restricción de los filtros de aire de admisión, que muestra el estado de saturación de los filtros de admisión.

El aire que entregan los turbos circula a través del postenfriador quien reduce la temperatura 89 a 84 °C antes de llegar a la cámara de combustión.

El sistema de escape tiene la finalidad de expulsar los gases calientes provocados por la combustión, a una temperatura no mayor de 750 °C. Al salir los gases a presión de la cámara de combustión pasan por el múltiple de escape y hace girar la turbina para ser expulsados a través del silenciador y el tubo de escape hacia la atmósfera en donde se encuentra el exhosto para reducir el ruido producido por el proceso de combustión a 93 db.

Este sistema cuenta con dos sensores para medir la temperatura de los gases de salida de la cámara de combustión.

El ECM del motor monitorea la presión del sensor entrada a los turbocompresores y el sensor de presión de salida del turbo compresor (presión interior de aftercooler) se usa para determinar la relación de aire-combustible.

Existe un sensor temperatura de salida de los gases en la galería del sistema de escape, el cual es monitoreado por el ECM de motor si la temperatura es igual o mayor que 750 °C por más de quince segundos el motor empezara a perder fuerza en 2%, si la temperatura permanece por encima de los 750 °C continuara con la pérdida de fuerza hasta llegar a un 20%. Si la falla es del sistema eléctrico el motor perderá fuerza inmediatamente un 20%.

4.5 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

El motor tiene un sistema de enfriamiento convencional, compuesto por una bomba de agua, un radiador, un ventilador, dos termostatos, un interruptor de flujo y un sensor de temperatura.

Debe ser capaz de hacer circular y contener refrigerante por todo el motor para eliminar el calor producido por la combustión, el rango de operación de trabajo es 72 a 92 grados °C, con una capacidad de 50,2 gal de refrigerante.

Cuando la temperatura del refrigerante del motor está por encima de 82 °C abre los termostatos y permite la circulación de refrigerante (ELC) a través del radiador.

Posee un interruptor de flujo y un sensor de temperatura que indican en el CEMS los valores de flujo y temperatura del refrigerante en el sistema. Cuando no hay flujo de refrigerante se activa una alarma de primer nivel, luminosa.

También hay indicación de la temperatura del refrigerante del motor en el panel de instrumentos a través de un indicador análogo. Cuando la aguja del indicador llega la zona roja en 107 °C, se activan las alarmas luminosa y sonora de alta temperatura del refrigerante del motor. Es una alarma de tercer nivel.

La bomba de refrigerante, tipo turbina instalada en la parte frontal del motor, suministra refrigerante contenido en el radiador hacia las galerías de refrigeración del motor, dicha bomba posee un testigo (fusible) por donde se evacua el refrigerante desde su carcasa interna hacia el exterior de la máquina, cuando ocurre una falla en su interior.

El ventilador es accionado por un motor hidráulico que recibe aceite de la bomba del ventilador, ubicada en tándem con la bomba de dirección, que toma el aceite del sistema de dirección.

La bomba del ventilador es una bomba de pistón de desplazamiento variable, la bomba jala aceite del tanque hidráulico de la dirección y es enviado al motor del ventilador.

El motor del ventilador es un motor de desplazamiento fijo, la velocidad del motor depende de la cantidad de flujo de aceite que le envíe la bomba. El aceite sale del motor del ventilador y pasa al enfriador del aceite hidráulico.

Hay una válvula solenoide que actúa dando paso de aceite piloto a la bomba cuando el ECM del motor detecta 92°C temperatura del refrigerante, de esta manera la bomba del ventilador incrementa el flujo de aceite hacia el motor del ventilador haciendo lo girar más rápido, es capaz de quitar un delta de temperatura entre 3 y 8 °C.

En el enfriador de aceite hay una válvula bypass que deja pasar el aceite por fuera del enfriador de aceite cuando el aceite está frío y se genera una restricción de 50 ±7 psi.

A medida que la temperatura incrementa la resistencia del aceite disminuye y la válvula se cierra, permitiendo pasar todo el aceite a través del enfriador.

El aceite retorna a tanque a través de un filtro ubicado al interior del tanque de la dirección, que retiene partículas mayores a 16 micrones.

4.6 LISTA DE FUNCIONES

4.6.1 Funciones del sistema motriz

1. Proporcionar un torque de 836 lb/pie a una velocidad de 2200 RPM al cargador.
2. Contener combustible
3. Contener aceite motor
4. Contener refrigerante
5. Permitir aumentar o disminuir las RPM del motor de 850 a 2200 RPM.
6. Permitir seleccionar la aceleración automática.
7. Permitir ajustar las RPM de trabajo de aceleración automática del cargador.
8. Indicar en el panel de instrumentos el nivel de combustible
9. Suministrar combustible a los múltiples de los inyectores a razón de 0.05 gpm a una presión de 65 psi.
10. Prevenir que partículas de agua lleguen a la cámara de combustión.
11. Prevenir que partículas mayores a 5 micrones lleguen a los inyectores.
12. Pulverizar combustible a una presión de 21.000 psi en la cámara de combustión.
13. Permitir bloquear la alimentación de combustible del tanque a la bomba de combustible.
14. Mantener una presión de 65 pis en el sistema de combustible.
15. Permitir llenar el sistema de combustible.
16. Disminuir las RPM del motor a 1000 cuando la temperatura de combustible este por encima de 130 °C.
17. Suministrar aceite lubricante a las galerías de lubricación del motor a una presión por encima de 16 psi.
18. Indicar la presión de lubricación del motor en el panel de instrumentos, cuando la presión de lubricación del motor sea menor a 16 psi activar la señal luminosa y luego sonora.
19. Mostrar una señal de advertencia luminosa cuando la temperatura del aceite del motor sea superior a 105 °C.

20. Prevenir que partículas mayores a 5 micrones ingresen a las galerías de lubricación motor.
21. Disminuir la temperatura de aceite del motor un delta de 30°C.
22. Suministrar presión de aceite de actuación a los inyectores en un rango entre 725 y 3000 psi.
23. Permitir drenar aceite del motor
24. Permitir medir el nivel de aceite de motor
25. Suministrar presión de aire de admisión superior a 27 psi a la cámara de combustión.
26. Prevenir el ingreso de partículas mayores a 10 micrones a los filtros de aire.
27. Prevenir el ingreso de partículas mayores a 5 micrones a los turboalimentadores del motor.
28. Indicar el nivel de saturación de los filtros de admisión de aire localmente.
29. Disminuir la temperatura del aire de admisión un delta de 5 °C.
30. Prevenir la emisión de ruido mayores 70 decibeles distancia de cinco metros cuadrados.
31. Mantener la temperatura de operación del motor máximo a 105 °C.
32. Indicar paso de flujo de refrigerante al bloque del motor en el panel de instrumentos.
33. Emitir una señal luminosa y/o sonora cuando la temperatura del motor está por encima de 105 °C en el panel de instrumentos del operador.
34. Suministrar refrigerante a las galerías del motor a una presión mínima de 10 psi.
35. Soportar el motor.
36. Amortiguar las vibraciones del motor.

5. CONCLUSIONES

Al aplicar la metodología *RCM* al sistema motriz de la flota de cargadores CAT 990 II, se logró obtener tareas que apuntan al mejoramiento del plan de mantenimiento que actualmente se aplica en la mina, pues se hizo un recorrido estricto por cada subsistema descartando las tareas que no vale la pena realizar, ya que son estas las que están generando pérdidas de tiempo y por ende disponibilidad de los equipos.

Cuando se hace mención a tareas que no vale la pena realizar, se refiere a que existe en los planes actuales de mantenimiento labores que no aportan al mejoramiento del equipo, entre las cuales se puede mencionar la reparación de componentes, los cuales se demostró que es mejor cambiarlos y no repararlos, pues no se cuenta con la tecnología suficiente o con las herramientas necesarias para hacer dichas reparaciones.

Otro ítem importante que se obtuvo al aplicar la metodología fue los tiempos que se demora cada tarea y quien es responsable de aplicarla, con esto se puede tener un tiempo aproximado para cada mantenimiento y que personas están mejor capacitadas para llevar dichas tareas a cabalidad.

Al comprender los términos de falla oculta y falla evidente, se tiene un mejor criterio para evaluar los equipos de respaldo, tarea que no es realizada en la actualidad por los técnicos. Los equipos de respaldo como bombas, válvulas, alarmas sonoras y visibles tienen que ser tenidos en cuenta en el plan de mantenimiento para evitar que al momento de ser requeridos no estén fuera de servicio y por ende no cumplan su función que es la de dar respaldo cuando el equipo principal falla.

Para obtener las tareas plasmadas en las hojas de decisión, se pasó por un proceso que tiene en cuenta aspectos medioambientales, de seguridad, consecuencias operacionales y no operacionales, las cuales están presentes en el entorno en el cual opera la máquina y son de vital importancia para proteger tanto el medio ambiente como la integridad de las personas que están en contacto tanto directo como indirecto con la flota de cargadores.

Finalmente, se obtuvo el resultado esperado, que era aplicar la metodología *RCM* al sistema motriz de la flota de cargadores CAT 990 II, se reafirmaron tareas que ya están en los planes de mantenimiento actuales, se obtuvieron otras nuevas que harán más eficiente el plan de mantenimiento al aportar tareas que son realmente necesarias para mantener el equipo en funcionamiento la mayor cantidad de tiempo posible.

BIBLIOGRAFÍA

AUGUST, Jim. RCM Guidebook: Building a Reliable Plant Maintenance Program. Tucson: PennWell Corporation, 2004.

BLOOM, Neil. Reliability Centered Maintenance: Implementation made simple. New York: McGraw-Hill, 2006.

Curso-RCM, Analista de RCM2-Abril 22-24 de 2008.

DESARROLLANDO UN PLAN DE MANTENIMIENTO APOYADOS EN RCM. [En línea] s.p.i. Disponible en internet: <http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos_rcm_archivos/Desarrollando%20un%20Plan%20de%20Mantenimiento%20apoyados%20en%20RCM.pdf> [consulta: Ene. 2011].

DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en Mantenimiento. Caracas: IESA, C.A., 1992.

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Plan de Mantenimiento Basado en RCM. [En línea] s.p.i. Disponible en internet: <<http://mantenimientoindustrial.wikispaces.com/Que+es+RCM>> [consulta: Ene. 2011].

GESTIOPOLIS. RCM - mantenimiento centrado en confiabilidad. [En línea] s.p.i. Disponible en internet: <<http://www.gestiopolis.com/operaciones/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad-rcm.htm>> [consulta: Ene. 2011].

MORA, Luis. Mantenimiento. Planeación, ejecución y Control. Bogotá: Alfaomega, 2009.

MOUBRAY ALADON, John. ¿Otras versiones de RCM? s.p.i.

----- . Reliability Centered Maintenance. London: Butterworth-Heinemann, 1992.

----- . Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. 2. Ed. North Carolina: Aladon Network Founder, 2008.

Norma SAE JA 1011

NOWLAN, F.S. y HEAP, H. Reliability-centered- Maintenance. Virginia: National Technical Information Service, 1978.

PÉREZ J, Carlos Mario. RCM y TPM: Metodologías complementarias no excluyentes. Bogotá: s.n., 2006.

PÉREZ J., Carlos Mario, RCM: Aplicación e Impacto. Bogotá: s.n., 1993.

ROJAS ARIAS, Jaime. Introducción a la Confiabilidad. Bogotá: Universidad de los Andes, 1975.

SMITH, Anthony M. y HINCHCLIFF, Glenn R. RCM. Estados Unidos: Butterworth-Heinemann, 1993.

SMITH, Anthony y HINCHCLIFFE, Glenn. RCM Gateway to World Class Maintenance. London: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.

SMITH, D.J. Reliability, Maintainability and Risk. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1993.

ANEXOS

Anexo A. AMFE SISTEMAS MOTRIZ

HOJA DE INFORMACIÓN RCM FLOTA DE CARGADORES 990

ELEMENTO	Cargador 990 II
COMPONENTE	SISTEMA MOTRIZ

FECHA	
REALIZADO POR	

FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA		
1	Proporcionar un torque de 836 lb/pie a una velocidad de 2200 RPM al cargador.	A	No proporciona torque	1	Ausencia de combustible en el motor	Ver análisis del sistema de combustible
				2	Ausencia de voltaje de 24 voltios	Ver análisis del sistema eléctrico
				3	ECM del motor dañado	Ver análisis del sistema eléctrico
				4	Sistema de combustible dañado	Ver análisis de la función 9
				5	Falla en sistema de lubricación externa	Ver análisis de la función 17
				6	Ausencia de aceite	Ver análisis de la función 17
				7	Sistema de admisión dañado	Ver análisis del sistema de admisión, función 25
				8	Pistón agarrotado por falta de lubricación	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, sí el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
				9	Culata agrietada por fatiga por choques térmicos	El agua pasa a la cámara de combustión produciéndose un bloqueo hidráulico que detiene el motor, el operador intenta arrancar el equipo y este no responde, avisa a base y base a mantenimiento. Diagnosticar y cambiar demora 72 horas, sí el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30

		días.
10	Culata agrietada por corrosión	El agua pasa a la cámara de combustión produciéndose un bloqueo hidráulico que detiene el motor, el operador intenta arrancar el equipo y este no responde, avisa a base y base a mantenimiento. Diagnosticar y cambiar demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
11	Interruptor de parada de emergencia en corto o dañado en posición cerrado	El motor se apaga y el intenta arrancar y no prende, hay un código de falla en el panel de instrumentos. Llama base y base a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 4 horas.
12	Interruptor de parada de emergencia activado	El motor no prende. Llama base y base a mantenimiento. Diagnosticar y colocar en servicio demora 2 horas.
13	El sensor primario de velocidad y tiempo dañado cuando el motor está apagado	El operador trata de prender el motor este da revoluciones pero no arranca. Avisa a base, a mantenimiento. Diagnosticar, cambiar y colocar en servicio demora 4 horas.
14	Sensor de presión de actuación del motor dañado	No llega señal de presión de actuación al ECM, no se activaran los inyectores para el arranque del motor. El cargador no arranca, el operador avisa a base que el equipo no arranca. Base avisa a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 4 horas.
15	Cigüeñal partido cerca al muñón número 1 por fatiga	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. El cargador debe remolcarse al taller. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
16	Cigüeñal partido cerca al muñón número 1 por falta de lubricación	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.

			17	Cigüeñal partido cerca al muñón número 1 por desgaste de la arandela de empuje	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. El cargador debe remolcarse al taller. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
			18	Árbol de levas partido por fatiga	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. El cargador debe remolcarse al taller. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
			19	Árbol de levas partido por falta de lubricación	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. El cargador debe remolcarse al taller. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
			20	Piñón de sincronización partido por fatiga	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo el motor gira pero no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. El cargador debe remolcarse al taller. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
			21	Piñón de sincronización partido por falta de lubricación	El cargador se apaga de repente, el operador intenta encenderlo y no da arranque el motor. Avisa a base y base a mantenimiento. El cargador debe remolcarse al taller. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 72 horas, si el repuesto está disponible en bodega. En caso de que el motor no está disponible el tiempo de puesta en marcha puede tomar 30 días.
			22	Cojinetes del cigüeñal agarrotados por desgaste	El cargador se vuelve lento y se escucha golpe en el motor. El operador detiene el cargador, avisa a base y base a mantenimiento. Pueden dañarse las camisas, los cilindros, bombas de aceite, entre otros. Diagnosticar, cambiar y colocar demora 72 horas.

			23	Tornillo de la línea de presión de actuación flojos por mal torque	El motor se apaga. Informa a la base que el cargador no tiene fuerza y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, calibrar y colocar operable demora 12 horas.		
		B		Proporciona menos torque de 836 lb/pie	1	Sistema de combustible dañado	Ver análisis de la función 9
	2				Sensor de temperatura del refrigerante dañado	El daño del sensor genera código de falla en el panel de instrumentos. Llega una señal falsa de alta temperatura del refrigerante del motor al ECM, entonces baja la entrega de combustible a la cámara de los pistones, el motor baja las RPM y cuando el operador pisa el acelerador escucha que el motor no acelera como es. El cargador pierde fuerza. El operador llama a base y reporta que el cargador perdió potencia. Base avisa a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 4 horas.	
	3				Sensor de temperatura del aceite del motor dañado	Llega una señal falsa de alta temperatura de aceite del motor al ECM, entonces baja la entrega de combustible a la cámara de los pistones, el motor baja las RPM y cuando el operador pisa el acelerador escucha que el motor no acelera como es. El cargador pierde fuerza. El operador llama a base y reporta que el cargador perdió potencia. Base avisa a mantenimiento. El daño del sensor genera código de falla en el panel de instrumentos. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 4 horas.	
	4				Sensor de temperatura del aceite del motor dañado en modo frío	Llega una señal falsa de baja temperatura de aceite del motor al ECM, entonces no deja aumentar la entrega de combustible a la cámara de los pistones, el motor se mantiene baja las RPM y cuando el operador pisa el acelerador escucha que el motor no acelera como es. El cargador pierde fuerza. El operador llama a base y reporta que el cargador perdió potencia. Base avisa a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 8 horas.	
	5				Sensor de presión atmosférica dañado	Llega una señal falsa de alta presión atmosférica al ECM, disminuye la entrega de combustible a la cámara de los pistones, el motor baja las RPM y cuando el operador pisa el acelerador escucha que el motor no acelera como necesita. El cargador pierde fuerza. El operador llama a base y reporta que el cargador perdió potencia. Base avisa a mantenimiento. En el panel de instrumentos aparece un código de falla. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 4 horas.	

			6	Sensor de presión de refuerzo dañado	Llega una señal falsa baja presión de admisión del motor al ECM, disminuye la entrega de combustible a la cámara de los pistones, el motor disminuye las RPM y cuando el operador pisa el acelerador escucha que el motor no acelera como es. El cargador pierde fuerza. El operador llama a base y reporta que el cargador perdió potencia. Base avisa a mantenimiento. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 4 horas.
			7	Sensor de posición de aceleración dañado	No llega señal de ancho de pulso modulado al ECM, disminuye la entrega de combustible a la cámara de los pistones, el motor disminuye las RPM y cuando el operador pisa el acelerador escucha que el motor no acelera como es. El cargador pierde fuerza. El operador llama a base y reporta que el cargador perdió potencia. Base avisa a mantenimiento. En el panel de instrumentos aparece el código de falla. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 2 horas.
			8	Sensor de temperatura de combustible dañado	Llega una señal falsa de alta temperatura del combustible del motor al ECM, entonces baja la entrega de combustible a la cámara de los pistones, el motor baja las RPM y cuando el operador pisa el acelerador escucha que el motor no acelera como es. El cargador pierde fuerza. El operador llama a base y reporta que el cargador perdió potencia. Base avisa a mantenimiento. El daño del sensor genera código de falla en el panel de instrumentos. Diagnosticar, reparar y colocar en servicio demora 2 horas.
			9	Anillos, pistones, y/o camisas desgastadas	Al atacar la pila, el cargador no tiene la fuerza requerida, el encendido del motor es retardado, se aumentan las emisiones al medio ambiente. El operador informa a la base que el cargador no tiene fuerza y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, cambiar y colocar operable demora 72 horas.
			10	Válvulas de admisión y escape desgastadas	Al atacar la pila, el cargador no tiene la fuerza requerida, cuando se acelera se escucha un ruido disperejo en el motor. El operador informa a la base que el cargador no tiene fuerza y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, cambiar y colocar operable demora 72 horas.
			11	Válvulas de admisión y/o escape descalibradas	Al atacar la pila, el cargador no tiene la fuerza requerida, cuando se acelera se escucha un ruido disperejo en el motor. El operador informa a la base que el cargador no tiene fuerza y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, calibrar y colocar operable demora 16 horas.

				12	Cojinetes del cigüeñal agarrotados por falta de lubricación	El cargador se vuelve lento y se escucha golpe en el motor. El operador detiene el cargador, avisa a base y base a mantenimiento. Pueden dañarse las camisas, los cilindros, bombas de aceite, entre otros. Diagnosticar, cambiar y colocar demora 72 horas.
				13	Sellos múltiples de actuación estallados por mala instalación	Al atacar la pila, el cargador no tiene la fuerza requerida, cuando se acelera se escucha un ruido disperejo en el motor. El operador informa a la base que el cargador no tiene fuerza y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, calibrar y colocar operable demora 12 horas.
				14	Anillos partidos por falta de lubricación	Al atacar la pila, el cargador no tiene la fuerza requerida, el encendido del motor es retardado, se aumentan las emisiones al medio ambiente. El operador informa a la base que el cargador no tiene fuerza y base a mantenimiento. Tiempo diagnosticar, cambiar y colocar operable demora 72 horas.
2	Contener combustible	A	No contiene combustible	1	Asiento válvula de drenaje desgastado	El combustible cae al medio ambiente en gotas continuas, en el cambio de turno el operador puede darse cuenta de la fuga de combustible por la humedad de combustible en el piso. Informa de la fuga a base y base a mantenimiento quien evalúa si continua o no trabajando. Este repuesto no se encuentra en la bodega, tiempo para conseguirlo demora hasta 5 días. Cuando llegue el repuesto cambiar y colocar en servicio demora 1 hora.
				2	Sello tapa de combustible deteriorado por desgaste	Hay pérdida de combustible cuando el tanque este lleno y en el proceso de tanqueo en chorro, el combustible cae a los drenajes de las bahías de tanqueo, que contienen filtros que previenen la decantación de combustible a la corteza terrestre. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para cambiar y colocar en servicio 1 hora.
				3	Válvula de alivio de la tapa de combustible deteriorado por sobre presión	Hay pérdida de combustible cuando el tanque este lleno y en el proceso de tanqueo en chorro, el combustible cae a los drenajes de las bahías de tanqueo, que contienen filtros que previenen la decantación de combustible a la corteza terrestre. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para cambiar y colocar en servicio 1 hora.
				4	Tanque de combustible roto por golpe con roca	El combustible cae al piso en chorro, el nivel de combustible disminuye, se requiere suministrar combustible con mayor frecuencia. Informan a base y base a mantenimiento, Tiempo para reparar y colocar en servicio 48 horas.
				5	Tanque roto por separación de soldadura	El combustible cae al piso en chorro, el nivel de combustible disminuye, se requiere suministrar combustible con mayor frecuencia. Informan a base y base a mantenimiento, Tiempo

		para reparar y colocar en servicio 48 horas.
6	Manguera de succión de la bomba de transferencia de combustible rota por rozamiento	El combustible cae en goteras sobre los múltiples de escape del motor, con el riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Si el daño es la noche la reparación y puesta en servicio demora 4 horas (debe traerse al manguero logo del pueblo) y si es de día reparar y colocar en servicio demora 2 horas.
7	Manguera de succión de la bomba de transferencia de combustible rota por cristalización	El combustible cae en goteras sobre los múltiples de escape del motor, con el riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Si el daño es la noche la reparación y puesta en servicio demora 4 horas (debe traerse al manguerologo del pueblo) y si es de día reparar y colocar en servicio demora 2 horas.
8	Manguera de retorno de combustible rota por rozamiento	El combustible cae en goteras sobre los múltiples de escape del motor, con el riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Si el daño es la noche la reparación y puesta en servicio demora 4 horas (debe traerse al manguerologo del pueblo) y si es de día reparar y colocar en servicio demora 2 horas.
9	Manguera de retorno de combustible rota por cristalización	El combustible cae en goteras sobre los múltiples de escape del motor, con el riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Si el daño es la noche la reparación y puesta en servicio demora 4 horas (debe traerse al manguerologo del pueblo) y si es de día reparar y colocar en servicio demora 2 horas.
10	Manguera de descarga de la bomba de transferencia de combustible rota por rozamiento	El combustible sale en spray sobre el área del motor y puede caer sobre los múltiples de escape del motor, con alta riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Si el daño es la noche la reparación y puesta en servicio demora 5 horas

		(debe traerse al manguerologo del pueblo) y si es de día reparar y colocar en servicio demora 3 horas.
11	Manguera de descarga de la bomba de transferencia de combustible rota por cristalización	El combustible sale en spray sobre el área del motor y puede caer sobre los múltiples de escape del motor, con alta riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Si el daño es la noche la reparación y puesta en servicio demora 5 horas (debe traerse al manguerologo del pueblo) y si es de día reparar y colocar en servicio demora 3 horas.
12	Mangueras de succión y/o retorno flojas	El combustible cae en goteras sobre los múltiples de escape del motor, con el riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio demora 1 hora. ES POCO PROBABLE QUE ESTO SUCEDA
13	Manguera de descarga flojas	El combustible sale en spray sobre el área del motor y puede caer sobre los múltiples de escape del motor, con alta riesgo de generarse un conato de incendio, cuando el combustible llega los múltiples se genera humo blanco. El operador detiene el cargador y avisa a base. Base avisa a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio demora 1 hora. ES POCO PROBABLE QUE ESTO SUCEDA
14	Tubo succión o de retorno rotos por rozamiento	El combustible cae al piso en chorro, si se incrementa la falla el consumo de combustible aumenta. Detiene el equipo e informa a base y base a mantenimiento, el equipo se debe trasladar al taller. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en servicio 10 horas.
15	Válvula de paso de retorno y/o succión dañada	El combustible cae al piso en gotas continuas, el derrame de combustible puede verse en piso, puede verse en el cambio de turno. Informa a base y base a mantenimiento quien evalúa si el equipo se detiene sí o no. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en servicio 2 horas.
16	Sello filtro secundario deteriorado por mala instalación	Cae el combustible en gotas al medio ambiente. Se aumenta el consumo de combustible y el equipo deberá ser recargado en periodos más cortos. Detiene el equipo e informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en servicio 1 hora.

				17	Válvula de drenaje del filtro separador abierta	El combustible cae al ambiente en chorro, el sistema de combustible coge aire y se detiene el motor por ausencia de combustible de repente. Informa a base y base informa a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en servicio 2 horas.
				18	Sellos de la bomba de transferencia cristalizados	El combustible cae en gotas encima del motor y baja por la parte delantera del motor y cae al ambiente. . Avisa a base y base a mantenimiento quien evalúa si el cargador se detiene o no. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en operación demora 8 horas.
				19	Sello filtro separador deteriorado por mala instalación	Cae el combustible en gotas al medio ambiente. Detiene el equipo e informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en servicio 1 hora.
				20	Sello de la válvula de suministro de combustible (wiggins) dañado por desgaste	El combustible cae al medio ambiente en gotas continuas. Informa a base y base a mantenimiento quien evalúa si continua o no trabajando. Tiempo para cambiar y colocar en servicio demora 1 hora.
				21	Sello línea de presión de la bomba deteriorado por uso	Se observa humedad por el área de la bomba de transferencia. Informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Cambiar el sello demora 4 horas.
3	Contener aceite motor	A	No contiene aceite del motor	1	Sello delantero del cigüeñal dañado	Se humedece la superficie del motor. Si la falla continua la fuga se incrementa. Llama a base y base a mantenimiento quien evalúa si el equipo se opera sí o no. Tiempo para reparar y colocar en servicio 24 horas.
				2	Sello trasero del cigüeñal dañado	El aceite cae a la carcasa del convertidor y contamina el aceite de la transmisión, se sube el nivel de aceite de la transmisión, el equipo continua trabajando. Se incrementa el consumo de aceite de motor. Detiene el equipo y reporta a base que el motor está presentando bajo nivel de aceite. Base reporta a mantenimiento quien evalúa si el equipo trabaja o no. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en servicio 56 horas.
				3	Sello de juntas del enfriador de aceite cristalizado	Se humedece el área del enfriador de aceite de motor, si la fuga continua pueden caer gotas al ambiente. Llama a base y base a mantenimiento quien evalúa si el equipo se opera sí o no. Tiempo para reparar y colocar en servicio 8 horas.
				4	Sello de la línea de presión de actuación cristalizado	El aceite humedece el área de la línea de presión de actuación, si la fuga continua se presenta goteo a la parte inferior del motor. Detiene el equipo e informa a base, informa a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 3 horas.

			5	Sello de la línea de presión de actuación dañado por mala instalación	El aceite sale en spray al área frontal de motor, y finalmente cae al piso (ambiente). El operador detiene el equipo e informa a base, a mantenimiento. Tiempo de reparar y colocar en servicio 4 horas.
			6	Sellos de sensor de temperatura de aceite, de presión de lubricación y/o presión de actuación cristalizados	El aceite sale pequeñas gotas que humedece el área de ubicación del sensor. Tiempo para reparar y colocar en servicio 1 hora.
			7	Mangueras de los filtros del aceite motor rota por cristalización	El aceite humedece el área del motor y si la fuga continua cae al ambiente, detiene la máquina y avisa a base y ellos a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 2 horas en turno de día, si es el turno de amanecida se demora 5 horas. (Buscar manguerologo).
			8	Filtro de aceite de motor flojo por mala instalación	El aceite cae al ambiente. Se detiene la máquina y avisa a base y ellos a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 1 hora.
			9	Respiradero del motor suelto por mala instalación	El aceite cae al tapa válvulas del motor y puede caer al múltiple de escape produciendo humo, con la posibilidad de darse conato de incendio. Detiene el equipo y avisa a base, avisa a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio demora 2 horas.
			10	Empaque del cárter dañado por mala instalación	El aceite cae al piso, si la fuga continua disminuye el nivel de combustible. Base reporta a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
			11	Empaque de culatas mal ajustado	El aceite cae al bloque del motor, el aceite es derramado por los costados del motor. Si la fuga se mantiene se disminuye gradualmente el nivel de aceite del motor. Detiene el equipo y avisa a base, avisa a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio demora 24 horas.
			12	Sello bomba de actuación cristalizada	El aceite cae en parte superior del motor y baja por la parte delante, la humedad de aceite en la parte delantera del motor se incrementa, detiene el equipo y reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 8 horas.
			13	Empaque carcasa frontal cristalizada	El aceite cae a la parte delantera del motor y lo humedece, cae el nivel de aceite de motor en el largo plazo, si la fuga continua cae al ambiente en goteo. Se detiene el equipo y reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 72 horas.

			14	Empaque carcasa trasera cristalizada	El aceite cae a la parte trasera del motor y lo humedece, cae el nivel de aceite de motor en el largo plazo, si la fuga continua cae al ambiente en goteo. Se detiene el equipo y reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 72 horas.
			15	Sello de línea de presión de lubricación de turbo cristalizada	El aceite cae sobre la parte central del turbo, genera humedad en el turbo y derrame de aceite en piso, si la fuga no es detectada y el equipo continua su operación puede ocurrir conato de incendio. Se detiene el equipo y avisa a base, base reporta a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 3 horas.
			16	Sello de línea de retorno de lubricación de turbo cristalizada	El aceite cae sobre la parte central del turbo, genera humedad en el turbo y derrame de aceite en piso, si la fuga no es detectada y el equipo continua su operación puede ocurrir conato de incendio. Se detiene el equipo y avisa a base, base reporta a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 3 horas.
			17	Tubo de entrada de lubricación del turbo reventado por vibración	El aceite sale en spray al ambiente y puede caer al múltiple de escape produciendo humo en el contacto, hay posibilidades de que se dé un conato de incendio, el operador detiene el equipo e informa a base, base a mantenimiento. Tiempo de reparar y colocar en funcionamiento demora 2 horas.
			18	Tubo de salida de lubricación del turbo reventado por vibración	El aceite sale y humedece el tubo y el lado del motor, el operador en cambio de turno detecta la humedad en el lado del motor, detiene el equipo e informa a base, base a mantenimiento. Tiempo de reparar y colocar en funcionamiento demora 3 horas. No hay repuesto en bodega y se debe soldar.
			19	Sello tapa válvulas cristalizadas	El aceite humedece la tapa válvulas. Se avisa a base y base a mantenimiento, quien evalúa si se trabaja sí o no. Tiempo para reparar y colocar en servicio 2 horas.
			20	Sello de la bomba de transferencia cristalizado	El aceite cae en gotas encima del motor y baja por la parte delantera del motor y cae al piso. Avisa a base y base a mantenimiento quien evalúa si el cargador se detiene sí o no. Tiempo para diagnosticar, reparar y colocar en operación demora 8 horas.
			21	Sello acoplamiento juntas bomba hidráulica cristalizado	El aceite sale por la parte trasera del motor y cae al piso en gotas, avisa a base, detiene el equipo, base a avisa a mantenimiento quien evalúa si se trabaja o no con el cargador. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 5 horas.

				22	Tubos internos del enfriador de aceite rotos por desgaste	El agua del sistema de enfriamiento pasa al sistema lubricación del motor, contaminando el aceite, se acelera la oxidación de las partes internas del motor. El aceite se emulsiona y cambia de color. Si la fuga se mantiene e incrementa se acelera el daño interior del motor. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento demora 16 horas.
4	Contener refrigerante	A	No contiene refrigerante	1	Manguera de succión de la bomba rota por cristalización	El refrigerante cae sobre el bloque del motor, si se incrementa la fuga se baja el nivel de refrigerante en el radiador y se activa la alarma de temperatura del motor y la alarma de flujo de refrigerante en el panel. Se detiene el equipo, se avisa a base y base a mantenimiento, quien evalúa. Tiempo para reparar 10 Horas.
				2	Manguera de succión de la bomba suelta	El refrigerante cae al piso, si se incrementa la fuga se baja el nivel de refrigerante en el radiador y se activa la alarma de temperatura del motor y la alarma de flujo de refrigerante en el panel. Se detiene el equipo, se avisa a base y base a mantenimiento, quien evalúa. Tiempo para reparar 4 Horas.
				3	Tornillo de la válvula de drenaje de refrigerante flojo	Se genera un goteo de refrigerante en la parte inferior del cargador, si se incrementa la fuga se baja el nivel de refrigerante en el radiador y se activa la alarma de temperatura del motor y la alarma de flujo de refrigerante en el panel. Se detiene el equipo, se avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 2 Horas.
				4	Radiador roto por golpe	Se genera goteo de refrigerante hacia el área inferior del radiador. Si se incrementa la fuga se enciende la alarma de temperatura del motor, si no se detiene la máquina se enciende la alarma de flujo de refrigerante hasta bajar las RPM del motor. Es muy poco probable que ocurra. Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para reparar la falla 36 horas.
				5	Radiador roto por soldadura de juntas	Se genera goteo de refrigerante hacia el área inferior del radiador. Si se incrementa la fuga se enciende la alarma de flujo de refrigerante, si no se detiene la máquina se enciende la alarma de temperatura del motor hasta bajar las RPM del motor. Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para reparar la falla 36 horas.
				6	Empaquetadura de los tanques cristalizadas	Se genera goteo de refrigerante hacia el área inferior del radiador. Si se incrementa la fuga se enciende la alarma de temperatura del motor, si no se detiene la máquina se enciende la alarma de flujo de refrigerante hasta bajar las RPM del motor.

				Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para reparar la falla 36 horas.	
			7	Empaquetadura de los módulos cristalizadas	Se genera goteo de refrigerante hacia el área inferior del radiador. Si se incrementa la fuga se enciende la alarma de temperatura del motor, si no se detiene la máquina se enciende la alarma de flujo de refrigerante hasta bajar las RPM del motor. Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para reparar la falla 36 horas.
			8	Válvula de alivio del tanque del radiador dañada en posición abierta	El refrigerante sale a través de la tapa y cae en la parte superior del tanque del radiador y se evapora inmediatamente. Si la fuga continua se observa la alarma de flujo de refrigerante en el panel de control, si el nivel de refrigerante baja puede llegar a incrementar la temperatura refrigerante del motor. Las RPM del motor disminuyen y por esta razón el operador apaga el equipo, se avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para cambiar la válvula 6 horas.
			9	Sello de la bomba de agua cristalizado	Se genera un goteo por el testigo de la bomba de agua, si la fuga se incrementa se observa una alarma de temperatura del motor en el panel de instrumentos. Si la fuga continua se enciende el indicador de flujo de refrigerante. El motor pierde RPM y el operador detiene el equipo. Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 16 horas.
			10	Línea de enfriamiento del turbo partido por vibración o por corrosión	El agua gotea sobre el bloque del motor. Desciende lentamente el nivel de refrigerante en el radiador, si la fuga no es detectada se observa incremento de la temperatura de refrigerante del motor y la alarma en el panel de instrumentos. Si la fuga continua se enciende la alarma de flujo de refrigerante. Se apaga el equipo y se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 4 horas.
			11	Sello de la tapa cristalizado	El refrigerante sale a través de la tapa y cae en la parte superior del radiador y se evapora inmediatamente. Desciende el nivel de refrigerante en el radiador. Si la fuga continua se observa la alarma de flujo de refrigerante en el panel de control, si el nivel de refrigerante baja puede llegar a incrementar la temperatura refrigerante del motor. Las RPM del motor disminuyen y por esta razón el operador apaga el equipo, se avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para corregir falla 2 horas.

				12	Manguera sistema wiggins rota por rozamiento	El refrigerante gotea al piso, si se incrementa la fuga se baja el nivel de refrigerante en el radiador, el motor aumenta la temperatura se enciende la alarma de alta temperatura en el motor en el panel de instrumentos, si el equipo no es detenido se activa la alarma de flujo de refrigerante, y luego se caen las RPM del motor. El operador avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 6 Horas.
				13	Manguera sistema wiggins rota por cristalización	El refrigerante gotea al piso, si se incrementa la fuga se baja el nivel de refrigerante en el radiador, el motor aumenta la temperatura se enciende la alarma de alta temperatura en el motor en el panel de instrumentos, si el equipo no es detenido se activa la alarma de flujo de refrigerante, y luego se caen las RPM del motor. El operador avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 6 Horas.
				14	Sello válvula de acople wiggins cristalizado	El refrigerante gotea al piso, si se incrementa la fuga se baja el nivel de refrigerante en el radiador, el motor aumenta la temperatura se enciende la alarma de alta temperatura en el motor en el panel de instrumentos, si el equipo no es detenido se activa la alarma de flujo de refrigerante, y luego se caen las RPM del motor. El operador avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 3 Horas.
				15	Tubo interno del postenfriador roto por calentamiento.	El refrigerante ingresa a la cámara de combustión del motor, produciendo bloqueo hidráulico, él no puede girar, el motor se apaga inmediatamente, incrementa el riesgo de dañar partes internas del motor, bielas, pistones, cigüeñal, culata, bloque, entre otros. El operador avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar el postenfriador 16 horas, si hay daño en el motor 56 horas.
5	Permitir aumentar o disminuir las RPM del motor de 850 a 2150 RPM.	A	No permite aumentar las RPM del motor	1	Sensor de pedal de aceleración dañado	El equipo no acelera, informa a la base y base a mantenimiento. Tiempo para evaluar y cambiar el sensor 8 horas.
				2	Alojamientos soporte del pedal desgastados	Al presionar el pedal de aceleración, siente que el pedal se desliza hacia los lados y no responde adecuadamente a la señal de aceleración. Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 8 horas.
				3	Pin de trinquete del acelerador suelto	El pedal del acelerador queda suelto por un lado y no se puede acelerar. Informa a la base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 3 horas.
		B	No permite disminuir las RPM del motor	1	Resorte de espiral del pedal partido por fatiga	Al presionar el pedal de aceleración, el pedal no se devuelve y el cargador queda acelerado. Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 4 horas.

6	Permitir seleccionar la aceleración automática.	A	No permite seleccionar la aceleración automática	1	Interruptor de selección dañado	La aceleración automática y no se activa. Base informa a mantenimiento. Tiempo para cambiar 2 horas.
7	Permitir ajustar las RPM de trabajo de aceleración automática del cargador.	A	No permite ajustar las RPM de trabajo de aceleración automática del cargador	1	Interruptor de aceleración automática dañado	Al aumentar las RPM del motor no se incrementan, entonces se trabaja con el uso del pedal. Informa a base y base informa a mantenimiento. Tiempo para cambiar 2 horas.
				2	Ausencia de voltaje de 24 voltios	Ver análisis de sistema eléctrico
				3	Interruptor de aceleración automática en off	Al activar la aceleración automática el equipo no recibe el seteo, informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 30 minutos.
8	Indicar en el panel de instrumentos el nivel de combustible	A	No indica en el panel de instrumentos el nivel de combustible depositado en el tanque.	1	Sensor de nivel de combustible dañado	No hay indicación de nivel de combustible en el panel de instrumentos. La aguja del indicador se va al color rojo. Puede quedarse el cargador sin combustible. Se activa el código de falla en el panel de instrumentos. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar la falla 4 horas.
				2	Ausencia de voltaje de 24 voltios	Ver análisis de sistema eléctrico
				3	CMS dañado (CEMS)	Ver análisis de sistema eléctrico
9	Suministrar combustible a los múltiples de los inyectores a razón de 0.05 gpm a una presión de 65 psi.	A	No suministra combustible	1	Bomba de transferencia dañada	El equipo pierde potencia y se apaga. Se detiene la máquina y se informa a la base y base a mantenimiento quien evalúa. Es necesario transportar el equipo al taller, cambiar la bomba de transferencia tarda 8 horas.
		B	Suministra combustible a razón de 0.05 GPM a una presión menor de 65 psi	1	válvula de control de presión de combustible dañada en posición abierta	El equipo pierde potencia, se detiene la máquina y se informa a la base y base a mantenimiento quien evalúa. Es necesario transportar el equipo al taller, cambiar la válvula de presión de combustible puede tardar 6 horas.
				2	Bomba de transferencia desgastada	El equipo pierde potencia. La posibilidad de ocurrencia es muy remota. Cambiar el piñón de la bomba de transferencia puede demorar 24 horas.
				3	Sello de la camisilla de inyectores cristalizado	El equipo pierde potencia y se siente disperejo, el combustible es transferido al sistema de refrigerante. Se detiene la máquina e informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Evaluar y corregir la falla demora 24 horas.
				4	Sello línea de presión de la bomba deteriorado por uso	Se observa humedad por el área de la bomba de transferencia. Informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Cambiar el sello demora 4 horas.
C	Suministra combustible a razón de 0.05 GPM a una presión mayor de	1	válvula de control atascada en posición cerrada	Se sube la temperatura del combustible, el ECM del motor detecta alta temperatura de combustible y baja la potencia del motor. El operador informa a base y base a mantenimiento		

			65 psi			quien evalúa. Tiempo para cambiar la válvula 4 horas.
10	Prevenir que partículas de agua lleguen a la cámara de combustión.	A	No previene que partículas de agua lleguen a la cámara de combustión.	1	Filtro separador de agua inadecuado	El equipo pierde potencia. Informa a base y base a mantenimiento quien evalúa y encuentra instalado un filtro inadecuado. Tiempo para instalar filtro adecuado 2 horas.
				2	Filtro separador de agua saturado por uso	El equipo pierde potencia. Informa a base y base a mantenimiento quien evalúa y encuentra. Tiempo para instalar filtro adecuado 2 horas.
11	Prevenir que partículas mayores a 5 micrones lleguen a los inyectores.	A	No prevenir la entrada de partículas mayores a 5 micrones a los inyectores	1	Filtro secundario roto por sobre presión	En el caso de que pasen partículas mayores a 5, los inyectores se dañan prematuramente, pierde potencia el cargador. El equipo es detenido. Tiempo para colocar en servicio 16 horas.
12	Pulverizar combustible a una presión de 21.000 psi en la cámara de combustión.	A	No pulverizar	1	Bomba de actuación dañada	Los inyectores no pulverizan el combustible porque no hay presión de actuación, el motor no arranca y el cargador queda detenido. Avisa a base y base a mantenimiento 16 horas.
				2	Falla en el sistema eléctrico (solenoides)	Ver análisis sistema eléctrico
				3	Ausencia de combustible	Ver sistema de combustible
		B	Pulveriza a una presión menor de 21.000 psi	1	Punta del inyector obstruida por carbonilla	El motor pierde potencia, hay humo negro y aumenta el consumo de combustible. Se informa a base, base a mantenimiento. Tiempo para colocar en servicio 8 horas.
				2	Punta inyector partido	El motor pierde potencia, hay humo negro y aumenta el consumo de combustible. Se informa a base, base a mantenimiento. Tiempo para colocar en servicio 8 horas.
				3	Inyector desgastado	El motor pierde potencia, hay humo negro y aumenta el consumo de combustible. Se informa a base, base a mantenimiento. Tiempo para colocar en servicio 8 horas.
				4	Inyector deteriorado por contaminación	El motor pierde potencia, hay humo negro y aumenta el consumo de combustible. Se informa a base, base a mantenimiento. Tiempo para colocar en servicio 8 horas.
		13	Permitir bloquear la alimentación de combustible del tanque a la bomba de combustible.	A	No permite bloquear la alimentación de combustible a la bomba de combustible	1

14	Mantener una presión de 65 psi en el sistema de combustible.	A	No mantiene una presión de 65 psi en el sistema de combustible	1	Resorte de válvula de alivio del sistema de combustible reventado	Se presenta pérdida de potencia, se disminuyen las rpm del motor. El operador detiene el equipo e informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para reparar si la válvula está en el almacén 4 horas. Tiempo para reparar 72 horas cuando se suministra desde Bquilla. (Nota: La válvula no la hay en bodega)
15	Permitir llenar el sistema de combustible.	A	No permite llenar el sistema de combustible	1	Válvula cheque desgastada	Después de un servicio al sistema de combustible el técnico intenta cargar las líneas de combustible y este no carga. La máquina no arranca. Tiempo para reparar 2 horas.
				2	Sello gasket cristalizado	Hay humedad en el bombín (parte externa), si se aumenta la fuga puede ocurrir derrame de combustible al piso y al área del motor. El motor pierde RPM lentamente. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 3 horas.
				3	Tornillo de sujeción de bombín flojo	Hay humedad en el bombín (parte externa), si se aumenta la fuga puede ocurrir derrame de combustible al piso y al área del motor. El motor pierde RPM lentamente. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 2 horas.
16	Disminuir las RPM del motor a 1000 cuando la temperatura de combustible este por encima de 130 °C	A	No disminuye las RPM del motor a 1000 cuando la temperatura de combustible este por encima de 130 °C	1	Circuito de sensor de temperatura abierto o en corto	La máquina pierde potencia. Se activa un código de servicio en el display del CMS en la cabina del operador. Y el motor baja las RPM. Tiempo para reparar 8 horas.
				2	Sensor de temperatura de combustible dañado	La máquina pierde potencia. Se activa un código de servicio en el display del CMS en la cabina del operador. Y el motor baja las RPM. Tiempo para reparar 8 horas.
				3	ECM Motor dañado	Ver análisis sistema control.
17	Suministrar aceite lubricante a las galerías de lubricación del motor a una presión por encima de 16 psi.	A	No suministra aceite lubricante	1	Inadecuado suministro de aceite en el motor	Se enciende la alarma de baja presión de aceite de motor en el panel de instrumentos. El equipo se apaga. Se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reponer nivel 3 horas.
				2	Bomba de lubricación de motor dañada	Se enciende la alarma de presión de lubricación en el panel de instrumentos. Se apaga repentinamente la máquina, el operador informa a base, base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para reparar el equipo 48 horas.
		B	Suministra aceite por debajo de 16 psi	1	Malla de succión obstruida con sólidos	Se disminuye la presión de aceite en las galerías del motor, se activa la alarma de baja presión de aceite del motor. El equipo pierde potencia, se enciende alarma de código de servicio. Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 48 horas.

				2	Bomba de lubricación del motor desgastada	Se disminuye la presión de aceite en las galerías del motor, se activa la alarma de baja presión de aceite del motor. El equipo pierde potencia, se enciende alarma de código de servicio. Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 48 horas.
				3	Cojinetes del motor desgastados	Se fuga el aceite por los cojinetes hacia el cárter, se disminuye la presión de aceite en las galerías del motor, se activa la alarma de baja presión de aceite del motor. El equipo pierde potencia, se enciende alarma de código de servicio. Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 96 horas.
				4	Inyectores de lubricación de los pistones (JET) sueltos por torque inadecuado	Se disminuye la presión de aceite en las galerías del motor, se activa la alarma de baja presión de aceite del motor. El equipo pierde potencia, se enciende alarma de código de servicio en el panel de instrumentos. Se detiene la máquina y se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 48 horas.
18	Indicar la presión de lubricación del motor en el panel de instrumentos, cuando la presión de lubricación del motor sea menor a 16 psi activar la señal luminosa y luego sonora.	A	No indica la presión de lubricación del motor en el panel de instrumentos.	1	Sensor de presión de aceite de lubricación del motor dañado	No se mueve la escala de indicación de porcentaje del indicador, en el panel de instrumentos aparece una indicación de falla en el motor y código de falla. Incrementa el riesgo de no tener un valor de presión de lubricación del motor cuando exista una falla real en el sistema de lubricación. El operador detiene el equipo llama a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 4 horas.
				2	Cableado del sensor de presión de lubricación del motor abierto o en corto.	No se mueve la escala de indicación de porcentaje del indicador, en el panel de instrumentos aparece una indicación de falla en el motor y código de falla. Incrementa el riesgo de no tener un valor de presión de lubricación del motor cuando exista una falla real en el sistema de lubricación. El operador detiene el equipo llama a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 8 horas.
				3	CMS del cargador dañado	Ver análisis del sistema eléctrico
		B	No emite la alarma luminosa cuando la presión de lubricación es menor a 16 psi.	1	CMS del cargador dañado	Ver análisis del sistema eléctrico
				2	Led de indicación de presión de aceite quemado	En el panel de instrumentos se activa un código de falla, se encienden las alarmas de acción y de advertencia, el operador detiene el equipo y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar y colocar en servicio es de 6 horas.

				1	CMS del cargador dañado	Ver análisis del sistema eléctrico
				2	Cableado de la alarma sonora en corto o abierto	En el caso que la presión de lubricación de aceite baje de 16 psi, se activa la alarma luminosa en el panel de instrumentos de baja presión, y no se activa la alarma sonora. Se da un código de servicio en el panel de instrumentos por daño el circuito de alarma. Si la falla se mantiene el cargador se apaga por baja presión de actuación. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento el circuito eléctrico 8 horas, más el tiempo para reparar el daño que produjo la caída de presión, función 17.
		C	No emite la alarma sonora cuando la presión de lubricación es menor a 16 psi.	3	Conector de la alarma sulfatado por humedad	Se da un código de servicio en el panel de instrumentos por daño el circuito de alarma. En el caso que la presión de lubricación de aceite baje de 16 psi, se activa la alarma luminosa en el panel de instrumentos de baja presión, y no se activa la alarma sonora. Si la falla se mantiene el cargador se apaga por baja presión de actuación. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento el conector 2 horas más el tiempo para reparar el daño que produjo la caída de presión, función 17.
				4	Bobina de la alarma sonora dañada	Se da un código de servicio en el panel de instrumentos por daño el circuito de alarma. En el caso que la presión de lubricación de aceite baje de 16 psi, se activa la alarma luminosa en el panel de instrumentos de baja presión, y no se activa la alarma sonora. Si la falla se mantiene el cargador se apaga por baja presión de actuación. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento la alarma 2 horas, más el tiempo para reparar el daño que produjo la caída de presión, función 17.
19	Mostrar una señal de advertencia luminosa cuando la temperatura del aceite del motor sea superior a 105 °C	A	No muestra alarma de advertencia luminosa cuando la temperatura del aceite del motor es mayor a 105 °C.	1	CMS del cargador dañado	Ver análisis del sistema eléctrico
				2	Led de indicación de temperatura de aceite quemado	En el panel de instrumentos se activa un código de falla 175, si la temperatura del aceite del motor supera los 105 grados, no se activa la alarma de advertencia de temperatura de aceite, si la temperatura de aceite continua incrementándose, se activa la alarma de temperatura del refrigerante del motor. El equipo es detenido. Tiempo para diagnosticar y colocar en servicio es de 8 horas.
		B	Muestra alarma de advertencia luminosa	1	CMS del cargador dañado	Ver análisis del sistema eléctrico

			cuando la temperatura del aceite del motor es inferior a los 105 °C	2	Circuito de sensor de temperatura de aceite del motor abierto o en corto	Se activa código de servicio 175 en el panel de instrumentos, se activa la alarma luminosa de temperatura de aceite del motor. El operador detiene la máquina porque cree que la temperatura del aceite del motor esta alta. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
				3	Sensor de temperatura de aceite del motor dañado	Se activa código de servicio 175 en el panel de instrumentos, se activa la alarma luminosa de temperatura de aceite del motor. El operador detiene la máquina porque cree que la temperatura del aceite del motor esta alta. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 4 horas.
20	Prevenir que partículas mayores a 5 micrones ingresen a las galerías de lubricación motor	A	No previene que partículas mayores a 5 micrones ingresen a las galerías de lubricación del motor	1	Filtros de aceite inadecuados	Si llegan partículas mayores a 5 micrones a la línea de aceite estas pueden pasar a las galerías de lubricación y luego a los casquetes de biela y de bancada, al sistema de actuación e inyectores. Se da desgaste prematuro de biela y de bancada y se baja la presión de lubricación. Cuando es menor a los 16 psi se dispara la alarma luminosa de baja presión en el motor, en el panel de instrumentos, el operador detiene el equipo. Avisa a base y está a mantenimiento. Tiempo de reparar y colocar en funcionamiento 48 horas.
				2	Filtro de aceite roto por fabricación	Si llegan partículas mayores a 5 micrones a la línea de aceite estas pueden pasar a las galerías de lubricación y luego a los casquetes de biela y de bancada, al sistema de actuación e inyectores. Se da desgaste prematuro de biela y de bancada y se baja la presión de lubricación. Cuando es menor a los 16 psi se dispara la alarma luminosa de baja presión en el motor, el operador detiene el equipo. Avisa a base y está a mantenimiento. Tiempo de reparar y colocar en funcionamiento 48 horas.
				3	Filtro de aceite obstruido por saturación	El aceite pasa a través de la válvula de derivación y pasa sin filtrar a los casquetes de casquetes de biela, bancada, bomba de actuación, entre otros, Si llegan partículas mayores a 5 micrones pasan directas a las galerías de lubricación y de allí a los casquetes de biela y de bancada, al sistema de actuación e inyectores. Se da desgaste prematuro de biela y de bancada y se baja la presión de lubricación. Cuando es menor a los 16 psi se dispara la alarma luminosa de baja presión en el motor, el operador detiene el equipo. Avisa a base, a mantenimiento. Tiempo de reparar y colocar en funcionamiento 48 horas.
21	Disminuir la temperatura de aceite del motor	A	No disminuir la temperatura de aceite del motor un delta de	1	Enfriador de aceite obstruido con partículas sólidas	Se aumenta la temperatura del aceite del motor, cuando es mayor de a 130 grados centígrados, se activa una alarma luminosa y sonora de alta temperatura de aceite del motor en el

	un delta de 30 °C		30 °C		panel de instrumentos, se genera código de servicio y el ECM disminuye las revoluciones del motor. El operador apaga el cargador, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio, 24 horas.	
22	Suministrar presión de aceite de actuación a los inyectores en un rango entre 725 y 3000 psi.	A	Suministrar aceite a menos de 725 psi	1	Bomba de lubricación del motor desgastada	No llega suficiente aceite al cárter de la bomba de actuación, en el panel de instrumentos se activa la alarma luminosa y sonora de baja presión de lubricación del motor, y se apaga el equipo. Se llama a base, y base a mantenimiento. Tiempo para diagnosticar y reparar demora 24 horas.
				2	Inyectores de combustible del motor desgastados	Al tratar de darle a arranque al motor, este alcanza las RPM pero no enciende. El operador avisa a base y ellos a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
				3	Eje de la bomba de actuación partido por fatiga	No llega aceite a los inyectores, se pierde la presión de aceite de actuación, se apaga el cargador por ausencia de inyección de combustible. Tiempo para diagnosticar y reparar demora 16 horas.
				4	Piñón de engranaje de la bomba actuación desgastado	No llega aceite a los inyectores, se pierde la presión de aceite de actuación, se apaga el cargador por ausencia de inyección de combustible. Tiempo para reparar 12 horas. Si la falla ocurre en el piñón de distribución del motor puede tardar 48 horas.
				5	Sellos de la línea de actuación rotos por cristalización.	Al tratar de darle a arranque al motor, este alcanza las RPM pero no enciende. El operador avisa a base y ellos a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
				6	Pistones de la bomba de actuación desgastados.	La presión de trabajo de la bomba de actuación no alcanza los 725 psi y se apaga el motor. Avisar a base y base a mantenimiento, tiempo para diagnosticar y colocar en funcionamiento es 16 horas.
		B	Suministrar aceite por encima de 3000 psi	1	Válvula compensadora mal calibrada (por encima de 3000 psi)	Cuando la presión de actuación sobrepasa los 3000 psi, el sensor de presión sensa una sobre presión en el sistema de actuación, el sensor de velocidad del motor le envía la señal al ECM y da la señal a los inyectores para cortar el combustible. Se activa la alarma de advertencia de falla del motor en el panel de instrumentos, el equipo queda encendido en baja RPM. Avisar a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
				2	Válvula compensadora agarrotada por suciedad.	La presión de actuación sobrepasa los 3000 psi, el sensor de presión sensa una sobre presión en el sistema de actuación, el sensor de velocidad del motor le envía la señal al ECM y da la señal a los inyectores para cortar el combustible. Se activa la

					alarma de advertencia de falla del motor en el panel de instrumentos, el equipo queda encendido en baja RPM. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
23	Permitir drenar aceite del motor	A	No permite drenar aceite	1	Hexágono de la cabeza de la válvula de drenaje deformado por ajuste y desajuste. Al momento de drenar el aceite no permite soltar la válvula. El tiempo de drenar el aceite se incrementa en una hora. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 2 horas.
24	Permitir medir el nivel de aceite de motor	A	No permite medir nivel de aceite de motor	1	Varilla medidora partida por desgaste. El operador no puede tener el nivel de aceite en el cárter. Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar la falla 2 horas.
				2	Varilla medidora doblada. El operador no puede tener el nivel de aceite en el cárter. Informa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para reparar la falla 2 horas.
				3	Varilla medidora inadecuada. La varilla no alcanza a hacer una lectura del nivel de aceite en el cárter. Detiene el cargador. Tiempo para reparar 2 horas.
25	Suministrar presión de aire de admisión superior a 27 psi a la cámara de combustión	A	No suministra presión de aire al sistema de admisión	1	Eje del turbo partido por falta lubricación. Emite humo azul por el escape del motor, hay ruido extraño en el área del motor, el motor baja las RPM, el cargador es detenido, Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento demora 12 horas.
				2	Turbo partido por sobre revolución del motor. Emite humo azul por el escape del motor, hay ruido extraño en el área del motor, el motor baja las RPM, el cargador es detenido, Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento demora 12 horas.
				3	Eje del turbo partido por desgaste. Emite humo azul por el escape del motor, hay ruido extraño en el área del motor, el motor baja las RPM, el cargador es detenido, Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento demora 12 horas.
				4	Filtros de aire de admisión obstruidos por suciedad. El motor no entrega la fuerza necesaria cuando se requiere atacar la pila, se activa la alarma de restricción de filtros de aire en el panel de instrumentos, y el equipo es detenido, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 2 horas.
				5	Tornillos de la línea de salida del turbo flojos por torque inadecuado. El flujo de aire que manda el turbo se escapa antes de llegar a la cámara de combustión, el motor no entrega la fuerza necesaria cuando se requiere atacar la pila, el cargador es detenido, avisa a base y base a mantenimiento, tiempo para reparar y colocar en servicio 4 horas.

			6	Turbo partido por turbo equivocado	Emite humo azul por el escape del motor, hay ruido extraño en el área del motor, el motor baja las RPM, el cargador es detenido, Informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento demora 12 horas.	
		B	Suministra presión de admisión por debajo de 27 psi	1	Eje de turbo desgastado (juego)	Hay ruido extraño en el área del motor porque los alabes del compresor del turbo rozan contra la carcasa del turbo. El motor pierde potencia y no entrega la máxima al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza. Tiempo para reparar y colocar en servicio 12 horas.
				2	Filtros de admisión parcialmente obstruidos	El motor no entrega máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza. Tiempo para reparar y colocar en servicio 2 horas
				3	Espárragos del múltiple de escape partidos por desgaste	Hay ruido alto en el área del motor mayor 90 decibeles, el motor no entrega la máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza y se escucha mucho ruido en el área del motor. Tiempo para reparar y colocar en servicio 16 horas.
				4	Sellos de la línea de salida del turbo deteriorados por cristalización	Hay salida de aire por la línea de presión del turbo. El motor no entrega máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza. Tiempo para reparar y colocar en servicio 8 horas
				5	Empaque línea de presión del turbo desgastado	Hay salida de aire por la línea de presión del turbo. El motor no entrega máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza. Tiempo para reparar y colocar en servicio 8 horas
				6	Carcasa del postenfriador agrietada por mala instalación	Hay salida de aire por el área del postenfriador. El motor no entrega máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza. Tiempo para reparar y colocar en servicio 8 horas
				7	Ductos del postenfriador obstruidos parcialmente por partículas metálicas.	El motor no entrega máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza. Tiempo para reparar y colocar en servicio 16 horas.
				8	Empaque de la carcasa de postenfriador cristalizado por alta temperatura	Hay salida de aire por el área del postenfriador. El motor no entrega máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza. Tiempo para reparar y colocar en servicio 8 horas

26	Prevenir el ingreso de partículas mayores a 10 micrones a los filtros de aire.	A	No previene el ingreso de partículas mayores a 10 micrones a los filtros de aire	1	Tubo del precleaner roto por calentamiento	Si del ambiente vienen partículas mayores a 10 micrones no son retenidas por el precleaner y pasan al filtro de aire de admisión, que se satura rápidamente, el cargador pierde potencia, cuando se va atacar la pila del frente de trabajo no desarrolla la fuerza requerida, se activa la alarma de restricción de filtros. Se detiene el equipo, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
				2	Manguera entre el silenciador y el precleaner rota por cristalización (desgaste)	Si del ambiente vienen partículas mayores a 10 micrones son retenidas por el precleaner pero no son evacuadas porque no se presenta el efecto Venturi y las partículas pasan al filtro de aire de admisión, que se satura rápidamente, el cargador pierde potencia, cuando se va atacar la pila del frente de trabajo no desarrolla la fuerza requerida, se activa la alarma de restricción de filtros. Se detiene el equipo, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 3 horas.
				3	Manguera entre el silenciador y el precleaner rota por calentamiento	Si del ambiente vienen partículas mayores a 10 micrones son retenidas por el precleaner pero no son evacuadas porque no se presenta el efecto Venturi y las partículas pasan al filtro de aire de admisión, que se satura rápidamente, el cargador pierde potencia, cuando se va atacar la pila del frente de trabajo no desarrolla la fuerza requerida, se activa la alarma de restricción de filtros. Se detiene el equipo, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas. (Cambio del exhosto).
				4	Silenciador quemado por desgaste.	No arrastra las partículas del precleaner y quema los tubos internos del precleaner. El filtro de aire de admisión se satura rápidamente, cuando se va atacar la pila del frente de trabajo no desarrolla la fuerza requerida, se activa la alarma de restricción de filtros. Se detiene el equipo, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
				5	Abrazadera entre el silenciador y el precleaner suelta	No arrastra las partículas del precleaner, no hace el efecto Venturi, El filtro de aire de admisión se satura rápidamente, cuando se va atacar la pila del frente de trabajo no desarrolla la fuerza requerida, se activa la alarma de restricción de filtros. Se detiene el equipo, avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento, 3 horas.

27	Prevenir el ingreso de partículas mayores a 5 micrones a los turboalimentadores del motor	A	No previene que partículas mayores a 5 micrones ingresen a los turboalimentadores del motor	1	Filtro de aire de admisión roto desgaste	En el caso que pasen partículas mayores de 5 micrones a los turboalimentadores del motor, los anillos, camisas, podrían deteriorarse por esas partículas, a largo plazo el motor pierde eficiencia, cuando se ataca la pila no se tiene la fuerza necesaria, porque hay un dañino del motor en general, se dispara la alarma de baja presión de aceite en el motor, detiene el equipo y reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 56 horas en el caso que se dañe el motor.
			2	Juntas de la carcasa del filtro de aire de admisión cristalizadas	El aire entra sin filtrar a la línea de succión del turboalimentador, en el caso que pasen partículas mayores de 5 micrones a los turboalimentadores del motor, los anillos, camisas, podrían deteriorarse por esas partículas, a largo plazo el motor pierde eficiencia, cuando se ataca la pila no se tiene la fuerza necesaria, porque hay daño del motor en general, se dispara la alarma de baja presión de aceite en el motor, detiene el equipo y reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 56 horas en el caso que se dañe el motor.	
			3	Manguera de la línea de succión del turbo rota por cristalización	El aire entra sin filtrar a la línea de succión del turboalimentador, en el caso que pasen partículas mayores de 5 micrones a los turboalimentadores del motor, los anillos, camisas, podrían deteriorarse por esas partículas, a largo plazo el motor pierde eficiencia, cuando se ataca la pila no se tiene la fuerza necesaria, porque hay daño del motor en general, se dispara la alarma de baja presión de aceite en el motor, detiene el equipo y reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 56 horas en el caso que se dañe el motor.	
			4	Indicador de saturación local del filtro de admisión caído	Hay ingreso de tierra por el orificio de instalación del indicador a la línea de succión del turbo alimentador, estas partículas no son filtradas, en el caso de que ingresen partículas mayores de 5 micrones pasan a los turboalimentadores del motor, los anillos, camisas, podrían deteriorarse por esas partículas, a largo plazo el motor pierde eficiencia, cuando se ataca la pila no se tiene la fuerza necesaria, porque hay un dañino del motor en general, se dispara la alarma de baja presión de aceite en el motor, detiene el equipo y reporta a base, a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 56 horas en el caso que se dañe el motor.	

				5	Abrazadera de la línea de succión del turbo suelta por mala instalación.	El aire entra sin filtrar a la línea de succión del turboalimentador, en el caso que pasen partículas mayores de 5 micrones a los turboalimentadores del motor, los anillos, camisas, podrían deteriorarse por esas partículas, a largo plazo el motor pierde eficiencia, cuando se ataca la pila no se tiene la fuerza necesaria, porque hay un daño del motor en general, se dispara la alarma de baja presión de aceite en el motor, detiene el equipo y reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio 56 horas en el caso que se dañe el motor.
28	Indicar el nivel de saturación de los filtros de admisión de aire localmente.	A	No indica el nivel de saturación de los filtros de aire de admisión	1	Indicador de saturación local del filtro de admisión ausente	En el momento que se requiere hacer la lectura del nivel de saturación de los filtros de aire de admisión localmente, el operador no tomar la lectura de saturación, si los filtros de admisión se saturan el sensor de restricción de filtros, envía una alarma de advertencia de filtros admisión están saturados. Tiempo de reparar y colocar en servicio demora 3 horas.
				2	Indicador de saturación descalibrado o pegado	En el momento que se requiere hacer la lectura del nivel de saturación de los filtros de aire de admisión localmente, el operador toma una indicación errónea de la saturación, si los filtros de admisión se saturan el sensor de restricción de filtros, envía una alarma de advertencia de filtros admisión están saturados. Tiempo de reparar y colocar en servicio demora 3 horas.
29	Disminuir la temperatura del aire de admisión un delta de 5 °C	A	No disminuye la temperatura de aire de admisión	1	Línea de refrigerante del postenfriador parcialmente obstruida por partículas sólidas	El aire de admisión entra caliente a la cámara de combustión produciendo una mayor temperatura, logrando una combustión incompleta, el cargador pierde fuerza y los múltiples de escape se calientan mucho, el indicador de temperatura del sistema de enfriamiento trabaja fuera del valor normal, El operador detiene el equipo por baja potencia. Tiempo para diagnosticar y colocar en funcionamiento, 24 horas.
30	Prevenir la emisión de ruido mayores 70 decibeles distancia de cinco metros cuadrados.	A	No previene la emisión de ruido mayores 80 decibeles distancia de cinco metros cuadrados.	1	Silenciador deteriorado por desgaste	El flujo de gases de escape pasa directo por el tubo del silenciador, no logra disminuir el nivel de ruido producido por el motor, salen al ambiente ruidos mayores a 70 decibeles, incrementando el riesgo de aumentar el nivel de fatiga del operador del cargador. El operador informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 4 horas.

				2	Abrazadera de línea de escape suelta por corrosión.	El flujo de gases de escape sale directo al ambiente sin pasar por el silenciador, no se logra disminuir el nivel de ruido producido por el motor, salen al ambiente ruidos mayores a 70 decibeles, incrementando el riesgo de aumentar el nivel de fatiga del operador del cargador. El operador informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 2 horas.
				3	Empaque del múltiple de escape quemado	Hay ruido en el área del motor mayor 70 decibeles, el motor no entrega la máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza y se escucha mucho ruido en el área del motor. Tiempo para reparar y colocar en servicio 16 horas.
				4	Fuelle de múltiple de escape quemado por temperatura	Hay ruido en el área del motor mayor 70 decibeles, el motor no entrega la máxima potencia al atacar el frente del trabajo, el operador reporta que el cargador no tiene fuerza y se escucha mucho ruido en el área del motor. Tiempo para reparar y colocar en servicio 12 horas.
				5	Silenciador caído por corrosión	El ruido del motor sale directamente a la atmósfera sin pasar por el silenciador, se escuchan más de 70 decibeles en la cabina del cargador, incrementando el riesgo de aumentar el nivel de fatiga del operador del cargador. El operador reporta que el cargador está haciendo mucho ruido. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento demora 4 horas.
				6	Extensión de tubo del silenciador caído por abrazadera suelta	Los gases han pasado por el silenciador, ruido que sale del silenciador no es guiado hacia la parte trasera del cargador, incrementando el ruido encima de la cabina, incrementando el riesgo de aumentar la fatiga del operador. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 3 horas.
31	Mantener la temperatura de operación del motor máximo a 105 °C	A	Mantiene la temperatura del motor mayor a 105 °C	1	Sistema hidráulico del motor del ventilador dañado	Ver análisis del sistema hidráulico
				2	Tubos internos del radiador obstruidos por suciedad	La temperatura del refrigerante del motor aumenta y cuando llega a un valor de 105 grados centígrados se activa la alarma de temperatura del sistema de enfriamiento en el panel de control del operador. El operador detiene el equipo y avisa a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en servicio demora si se tiene el radiador de repuesto 16 horas, si no demora 24 horas.

			3	Turbina bomba de agua partida por desgaste	Al romperse la turbina el agua no circula por el sistema, se enciende la alarma de flujo de refrigerante en el panel de control del operador, si no se detiene el equipo se incrementa la temperatura a un valor mayor de 105 grados centígrados y se activa la alarma de alta temperatura en el panel de instrumentos. El motor disminuye las RPM, el operador estaciona el equipo y apaga la máquina. Se avisa a la base y base a mantenimiento quien evalúa. Cambiar la bomba de refrigerante puede tomar 16 horas.
			4	Bomba de agua desgastada	El flujo de refrigerante en el sistema es insuficiente, esto provoca que se encienda de manera intermitente la alarma de flujo de agua. Si se incrementa la caída de flujo se calienta el sistema y activa la alarma de temperatura en el panel de instrumentos del motor cuando es mayor a 105 grados centígrados. Se avisa a la base y base a mantenimiento. Reparar y colocar en funcionamiento demora 24 horas.
			5	Panel del radiador obstruido con tierra (externa).	Se incrementa la temperatura del motor y se activa la alarma de temperatura del motor cuando llegue a 105 grados centígrados, en el panel de instrumentos. Si no se detiene el equipo y la temperatura continúa en aumento, se bajan las RPM del motor y se detiene la máquina. Se le informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 2 horas.
			6	Termostato del sistema de enfriamiento del motor dañado en posición cerrada.	No hay flujo de refrigerante por el panel del radiador y se incrementa rápidamente la temperatura del refrigerante. Se enciende la alarma de alta temperatura del sistema de enfriamiento en el panel de instrumentos cuando llega a un valor igual a 105 grados centígrados. Si continua el incremento de la temperatura se bajan las RPM del motor. Se detiene el equipo, se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
			7	Empaque de culata deteriorado (roto por cristalización)	Se origina una contra presión en el bloque del motor, esta contrapresión fluye a través del sistema de enfriamiento provocando que se active la alarma de flujo de refrigerante en el panel de instrumentos. Si no se detiene la máquina la temperatura de refrigerante aumento y en un valor de 105 grados centímetros se enciende la alarma de temperatura del motor. Se detiene el equipo y apaga la máquina. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 36 horas.

32	Indicar paso de flujo de refrigerante al bloque del motor en el panel de instrumentos.	A	No indica flujo de refrigerante cuando hay paso de refrigerante	1	Interruptor de flujo dañado en posición abierta.	Al encender el equipo, la máquina mantiene la alarma de no flujo de refrigerante encendida. El operador detiene la máquina y avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para corregir 6 horas.
				2	Cableado del Interruptor de flujo abierto	Al encender el equipo, la máquina mantiene la alarma de flujo de refrigerante encendida. El operador detiene la máquina y avisa a base y base a mantenimiento quien evalúa. Tiempo para corregir 8 horas.
				3	CMS dañado	Ver análisis del sistema eléctrico
	B	Indica flujo de refrigerante cuando no existe paso de refrigerante.	1	Interruptor de flujo dañado en posición cerrada.	La alarma de flujo de refrigerante permanece apagada aun cuando el motor no está en funcionamiento. El operador reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 6 horas.	
			2	Cableado del Interruptor de flujo en corto o a tierra	La alarma de flujo de refrigerante permanece apagada aun cuando el motor no está en funcionamiento. El operador reporta a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.	
			3	CMS dañado	Ver modo de falla sistema electrónico	
33	Emitir una señal luminosa y/o sonora cuando la temperatura del motor está por encima de 105 °C en el panel de instrumentos del operador.	A	No emite una señal luminosa cuando la temperatura es mayor a 105 °C	1	Sensor dañado en un valor por encima de 105 grados centígrados	En el caso de que el motor se caliente por encima de los 105 grados centígrados no se activa la alarma luminosa y sonora de alta temperatura. Al continuar incrementándose la temperatura del refrigerante y alcanzar una temperatura igual a 135 grados centígrados se activa la señal luminosa de temperatura de aceite de lubricación del motor, disminuyen las RPM del motor. El operador detiene el equipo se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
				2	Cableado abierto	Se genera un código de servicio de cable abierto en el CMS. En el caso de que el motor se caliente por encima de los 105 grados centígrados no se activa la alarma luminosa y sonora de alta temperatura. Al continuar incrementándose la temperatura de refrigerante y llegar a 135 grados centígrados se activa la señal luminosa de temperatura de aceite de lubricación del motor, disminuyen las RPM del motor. El operador detiene el equipo se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
				3	CMS dañado	Ver análisis del sistema eléctrico

			4	Led de indicación de alta temperatura dañado	En el caso de que el motor se caliente por encima de los 105 grados centígrados no se activa la alarma luminosa, se activa la alarma sonora de alta temperatura. Al continuar incrementándose la temperatura del refrigerante y alcanzar una temperatura igual a 135 grados centígrados se activa la señal luminosa de temperatura de aceite de lubricación del motor, disminuyen las RPM del motor. El operador detiene el equipo se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 8 horas.
	B	No emite una señal sonora cuando la temperatura es mayor a 105 °C	1	Sensor dañado.	Ídem 33A1
			2	Cableado abierto	Ídem 33A2
			3	CMS dañado	Ídem 33A3
			4	Bocina de alarma sonora dañada	En el caso de que el motor se caliente por encima de los 105 grados centígrados no se activa la alarma sonora, se activa la alarma luminosa de alta temperatura. Al continuar incrementándose la temperatura del refrigerante y alcanzar una temperatura igual a 135 grados centígrados se activa la señal luminosa de temperatura de aceite de lubricación del motor, disminuyen las RPM del motor. El operador detiene el equipo se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 2 horas.
	C	Emite una señal luminosa cuando la temperatura está por debajo de 105 °C.	1	Sensor dañado en un valor inferior a los 105 grados centígrados	Se activa en el panel de instrumentos la señal sonora y luminosa de alta temperatura del refrigerante del motor, sin estar por encima de los 105 grados centígrados. El operador detiene el equipo e informa a la base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 10 horas.
			2	Cableado en corto o a tierra	Se genera un código de falla activo en el CMS. Se activa en el panel de instrumentos la señal sonora y luminosa de alta temperatura del refrigerante del motor, sin estar por encima de los 105 grados centígrados. El operador detiene el equipo e informa a la base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 10 horas.
			3	CMS dañado	Ver modo de falla sistema electrónico
	D	Emite una señal sonora cuando la temperatura está por debajo de 105 °C	1	Sensor dañado	Ídem 33C1
			2	Cableado en corto o a tierra	Ídem 33C2
			3	CMS dañado	Ídem 33C3

34	Suministrar refrigerante a las galerías del motor a una presión mínima de 10 psi	A	No suministrar refrigerante	1	Eje bomba de agua partido por desgaste	Al partirse el eje de la bomba el agua no circula por el sistema, se enciende la alarma de flujo de refrigerante en el panel de control del operador, si no se detiene el equipo se incrementa la temperatura del motor, se activa alarma de alta temperatura de refrigerante en 105 grados centígrados. El motor disminuye las RPM, el operador estaciona el equipo y apaga la máquina. Se avisa a la base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
				2	Turbina bomba de agua partida por desgaste	Al partirse el eje de la bomba el agua no circula por el sistema, se enciende la alarma de flujo de refrigerante en el panel de control del operador, si no se detiene el equipo se incrementa la temperatura del motor, se activa alarma de alta temperatura de refrigerante en 105 grados centígrados. El motor disminuye las RPM, el operador estaciona el equipo y apaga la máquina. Se avisa a la base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 16 horas.
				3	Ausencia de refrigerante	Se enciende la alarma de flujo de refrigerante en el panel de control del operador, si no se detiene el equipo se incrementa la temperatura del motor, se activa la alarma de temperatura de refrigerante en 105 grados centígrados. El motor disminuye las RPM, el operador estaciona el equipo y apaga la máquina. Se avisa a la base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar y colocar en funcionamiento 3 horas.
		B	Suministra refrigerante por debajo de 10 psi	1	Turbina bomba de agua desgastada	Se incrementa lentamente la temperatura del motor, en bajas revoluciones del motor se enciende la alarma de flujo de refrigerante. Si se continúa operando el equipo se le activa la alarma sonora y luminosa de temperatura del motor en 105 grados centígrados en el panel de instrumentos. Si la falla continua se disminuyen las RPM del equipo por la alta temperatura. Se detiene la máquina, se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 16 horas.
				2	Bajo nivel de refrigerante en radiador	Se incrementa lentamente la temperatura del motor, en bajas revoluciones del motor se enciende la alarma de flujo de refrigerante. Si se continúa operando el equipo se le activa la alarma sonora y luminosa de temperatura del motor en 105 grados centígrados en el panel de instrumentos. Si la falla continua se disminuyen las RPM del equipo por la alta temperatura. Se detiene la máquina, se informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 3 horas.

35	Soportar el motor	A	No soporta el motor	1	Tornillo de fijación al soporte del motor flojo por torque inadecuado	Se generan vibraciones en la máquina. Se incrementa el desgaste en las crucetas del cardán convertidor, también del yoke del cardán dándose fuga de aceite del convertidor por el sello. El equipo se detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 36 horas.
				2	Tuerca ausente	Se generan vibraciones en la máquina. Se incrementa el desgaste en las crucetas del cardán convertidor, también del yoke del cardán dándose fuga de aceite del convertidor por el sello. El equipo se detiene. Avisa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 36 horas.
36	Amortiguar las vibraciones del motor.	A	No amortigua las vibraciones del motor	1	Cauchos del soporte del motor roto por vibración	Se incrementa el desgaste de las crucetas. Se acelera el daño del yoke, o partirse las crucetas, el cargador se detiene. El operador informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 36 horas.
				2	Cauchos del dumper partidos	Genera vibración en el motor. Si la falla se mantiene genera descompensación interna del motor y daño interno de algunos de sus componentes. El equipo se detiene. El operador informa a base y base a mantenimiento. Tiempo para reparar 24 horas.

Anexo B. HOJA DE DECISIÓN SISTEMA MOTRIZ

HOJA DE DECISIÓN FLOTA CARGADORES 990

HOJA DE DECISIÓN RCM2	ELEMENTO: CARGADOR 990	Nº	Realizado por: Grupo de mantenimiento	Fecha inicial 07/09/2010	Fecha final 07/07/2011
	COMPONENTE: SISTEMA MOTRIZ	Ref.	Revisado por	Fecha inicial	Fecha final

Referencia información	Evaluación de consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	Comentario			
	F	F	M	F				H	S	E					O	H4	H5
1	A	1												Ver análisis por aparte sistema de combustible			
1	A	2												Ver análisis del sistema eléctrico			
1	A	3												Ver análisis del sistema eléctrico			
1	A	4												Ver análisis del sistema de combustible			
1	A	5												Ver análisis del sistema de engrase			
1	A	6												Ver análisis del sistema de lubricación			
1	A	7												Ver análisis del sistema de admisión			
1	A	8	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	9	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	10	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo			Averiguar si las propiedades del refrigerante me pueden indicar oxidación o corrosión de algunas de las partes del motor
1	A	11	S	N	N	S	N	N	S					Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	12	S	N	N	S	N	N	S					Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	13	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	14	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo			

1	A	15	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	16	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	17	S	N	N	S	S					Hacer análisis del aceite del motor (cromatografía) buscar partículas de cobre 12ppm Cu, confirmar con técnico de Shell, programar reparación del motor.	250 horas	Laboratorio	
1	A	18	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	19	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	20	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	21	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	A	22	S	N	N	S	S					Hacer análisis del aceite del motor (cromatografía) buscar partículas de babbit y cobre 15ppm y 12ppm y programar reparación del motor	250 horas	Mecánico de mantenimiento	
1	A	23	S	N	N	S	N	N	N			Rediseño. Divulgar procedimiento de torqueo y ensamble de múltiples de escape a los técnicos.		Ingeniero de confiabilidad	Rediseño
1	B	1										Ver análisis del sistema de combustible			
1	B	2	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	3	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	4	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	5	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	6	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	7	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	8	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	9	S	N	N	S	S					Hacer prueba de calado del motor y cuando el valor este en 1800rpm hacer prueba de medición de presión de gases del cárter	1000 horas	Mecánico de mantenimiento	
1	B	10	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	11	S	N	N	S	N	S				Realizar calibración de válvulas de acuerdo a procedimiento CAT	8000 horas	Mecánico de mantenimiento	Si existe la herramienta para la calibración de válvulas y escribir procedimiento
1	B	12	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	13	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
1	B	14	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
2	A	1	S	N	S		S					Inspeccionar humedad de combustible en la válvula de drenaje del tanque de combustible	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	Válvula de drenaje de combustible incluirlo en Stock
2	A	2	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			

2	A	3	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo (Recomendación de estudiar elementos diferentes que no fallen tan frecuentemente como estas válvulas de alivio, para ser instalados)	estas tapas no tienen la válvula de alivio, la pistola se dispara sola			
2	A	4	S	N	S		N	N	N			BUSCAR UNA MEDIDA QUE DISMINUYA LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL MODO DE FALLA		Ingeniero de confiabilidad		
2	A	5	S	N	S							Inspeccionar la presencia de grietas en las soldaduras de la parte externa del tanque de combustible con tintas penetrantes.	2000 horas	AB proyectos		
2	A	6	S	S			N	N	N	N		Colocar mangueras de succión estandarizadas por fabricante, dimensión, abrazaderas, entre otros.				Incluir en stock abrazadera de la manguera de succión de la bomba de transferencia de combustible.
2	A	7	S	S			S					Inspeccionar la superficie de la manguera de succión de la bomba de transferencia de combustible, grietas y flexibilidad.	1000 horas	Mecánico de mantenimiento		
2	A	8	S	S			N	N	N	N		Colocar mangueras de retorno estandarizadas por fabricante, dimensión, abrazaderas, entre otros.				
2	A	9	S	S			S					Inspeccionar la superficie de la manguera de retorno de la bomba de transferencia de combustible, grietas y flexibilidad.	1000 horas	Mecánico de mantenimiento		
2	A	10	S	S			N	N	N	N		Colocar mangueras de descarga estandarizadas por fabricante, dimensión, abrazaderas, entre otros.				
2	A	11	S	S			S					Inspeccionar la superficie de la manguera de descarga de la bomba de transferencia de combustible, grietas y flexibilidad.	1000 horas	Mecánico de mantenimiento		
2	A	12	S	S			N	N	N	N		Comunicación al supervisor de incrementar el control sobre la instalación y apriete de las mangueras de succión y retorno.		Ingeniero de confiabilidad		
2	A	13	S	S			N	N	N	N		Comunicación al supervisor de incrementar el control sobre la instalación y apriete de las mangueras de succión y retorno.		Ingeniero de confiabilidad		
2	A	14	S	N	S		N	N	N	N	N	Rediseño. Estudiar la posibilidad de cambiar el tubo por mangueras o sino tener todos los tubos estandarizados en stock bodega.		Ingeniero de confiabilidad		Tubos de succión o de retorno incluirlo en stock bodega.
2	A	15	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de combustible en le válvula de paso de combustible	2000 horas	Mecánico de mantenimiento		
2	A	16	S	N	S		N	N	N		N	Rediseño. Asegurar procedimiento de instalación de filtro de combustible durante el mantenimiento preventivo.		Ingeniero de confiabilidad		Rediseño
2	A	17	S	N	S		N	S				Drenar el depósito del filtro separador de agua del combustible	250 horas	Mecánico de mantenimiento		

2	A	18	S	N	S		S					Inspeccionar humedad de combustible en la bomba de transferencia de combustible	1000 horas	Mecánico de mantenimiento	
2	A	19	S	N	S		N	N	N		N	Rediseño. Asegurar procedimiento de instalación de filtro de combustible durante el mantenimiento preventivo.		Ingeniero de confiabilidad	Rediseño
2	A	20	S	N	S		N	N	S			Evaluar reporte de cambio de válvulas del sistema wiggins para programar cambio a la menor frecuencia. De esta manera se deberá hacer una tarea de sustitución cíclica.		Ingeniero de confiabilidad	Comprar repuesto original (sello) para su instalación.
2	A	21	S	N	S		S					Inspeccionar humedad de combustible en el tubo de conexión con los múltiples de las culatas	1000 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	1	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en la parte delantera del cigüeñal.	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	2	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
3	A	3	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en el área del enfriador de aceite de motor.	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	4	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en la línea de presión de actuación	1000 horas	Técnico	
3	A	5	S	N	S		N	N	N		N	Rediseño. Divulgar procedimiento de instalación de bomba de presión de actuación.		Ingeniero de confiabilidad	Rediseño. Divulgación
3	A	6	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en el área de los sensores de presión de actuación, lubricación y temperatura de aceite	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	7	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad en la superficie de la manguera de filtros de aceite de motor.	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	8	S	N	S		N	N	N		N	Rediseño. Asegurar procedimiento de instalación de filtro de aceite de motor.		Ingeniero de confiabilidad	Rediseño. Divulgación
3	A	9	S	S			N	N	N		N	Rediseño. Incluir en el procedimiento de intervención de respiraderos una prueba en patio para detectar fuga de aceite.		Ingeniero de confiabilidad	Rediseño. Procedimiento
3	A	10	S	N	S		N	N	N		N	Rediseño. Enviar carta formal a Gecolsa (CAT) informando el estado de las reparaciones de motores en CRC.		Ingeniero de confiabilidad	Rediseño. Comunicado
3	A	11	S	N	N	S	N	N	N			Rediseño. Enviar carta formal a Gecolsa (CAT) informando el estado de las reparaciones de motores en CRC.		Ingeniero de confiabilidad	Rediseño. Comunicado
3	A	12	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en el área de la bomba de actuación	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	13	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en el área de la carcasa frontal	500 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	14	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en el área de la carcasa trasera	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
3	A	15	S	N	N	S	S					Inspeccionar humedad de aceite de motor en la parte central superior del turbo (sello de línea de lubricación	1000 horas	Mecánico de mantenimiento	

5	B	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				Revisar si están en stock el resorte de espiral
6	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
7	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
7	A	2										Ver análisis de sistema eléctrico				
7	A	3	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
8	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
8	A	2										Ver análisis de sistema eléctrico				
8	A	3										Ver análisis de sistema eléctrico				
9	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
9	B	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
9	B	2	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
9	B	3	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
9	C	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
10	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Descargar el agua retenida en recipiente del filtro separador	24 horas	Operador		
10	A	2	S	N	N	S	N	S				Ningún mantenimiento preventivo				
11	A	1	N				N	N	N	N	N	Ningún mantenimiento preventivo				
12	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
12	A	2										Ver análisis sistema eléctrico				
12	A	3										Ver sistema de combustible				
12	B	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
12	B	2	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
12	B	3	S	N	N	S	N	N	S			Ningún mantenimiento preventivo				
12	B	4	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
13	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
14	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				Incluir válvula de alivio del sistema de combustible como ítem de stock bodega.
15	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Inspeccionar la presencia de humedad de combustible en la superficie de la carcasa de los filtros	500 horas	Mecánico de mantenimiento		
15	A	2	S	N	N	S	S					Ningún mantenimiento preventivo				
15	A	3	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				
16	A	1	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo				

16	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo			
16	A	3											Ver análisis sistema de control			
17	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo			
17	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo			
17	B	1	S	N	N	S	N	N	N				Medir presión de aceite de motor con el ET, si la presión en el sistema es mayor a 25 psi programar lavado de la malla de succión	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
17	B	2	S	N	N	S	S						Hacer análisis de aceite de lubricación del motor (Cuando el valor de la muestra sea 12ppm de Cu programar cambio de cojinetes del motor) averiguar con el técnico de Shell	250 horas	Mecánico de mantenimiento	
17	B	3	S	N	N	S	S						Ningún mantenimiento preventivo			
17	B	4	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo			
18	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningún mantenimiento preventivo			
18	A	2	S	N	N	S	N	N	N				Ver análisis del sistema eléctrico			
18	A	3											Ver análisis del sistema eléctrico			
18	B	1											Apagar el motor y abrir el Interruptor y revisar que el Led de baja presión se encienda cuando el sistema CMS hace el barrido	Cada cambio turno	de Operador	
18	B	2	N				N	N	N	S			Ver análisis del sistema eléctrico			
18	C	1	N				N	N	N	S			Revisar códigos de servicio activos e identificar si hay alarma activa de sistema de lubricación	250 horas	Electricista de mantenimiento	
18	C	2	N				N	N	N	S			Revisar códigos de servicio activos e identificar si hay alarma activa de sistema de lubricación	250 horas	Mecánico de mantenimiento	
18	C	3	N				N	N	N	S			Iniciar el motor, abrir el Interruptores y revisar que la alarma sonora suene cuando el sistema CMS hace el barrido	Cada cambio turno	de Operador	
18	C	4	N				N	N	N	S			Iniciar el motor, abrir el Interruptores y revisar que la alarma sonora suene cuando el sistema CMS hace el barrido	Cada cambio turno	de Operador	
19	A	1	N				N	N	N	S			Apagar el motor y abrir el Interruptores y revisar que el Led de alta temperatura se encienda cuando el sistema CMS hace el barrido	Cada cambio turno	de Operador	
19	A	2	N				N	N	N	S			Apagar el motor y abrir el Interruptores y revisar que el Led de alta temperatura se encienda cuando el sistema CMS hace el barrido	Cada cambio turno	de Operador	
1	B	1											Ningún mantenimiento preventivo			

25	A	3	S	N	N	S	S					Realizar toma de vibraciones como medida predictiva.	5000 horas	Mecánico de mantenimiento	
25	A	4	S	N	N	S	N	S				Limpia los filtros de aire primarios de admisión del motor soplándolos con aire.	250 horas	Mecánico de mantenimiento	
25	A	5	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
25	A	6	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
25	B	1	S	N	N	S	S					Realizar toma de vibraciones como medida predictiva.	5000 horas	Mecánico de mantenimiento	
25	B	2	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
25	B	3	S	N	N	S	S					Hacer inspección visual para detectar presencia de fuga de gases de escape, si encuentra cambiar de inmediato	1000 horas	Mecánico de mantenimiento	
25	B	4	S	N	N	S	S					Hacer prueba de presión de refuerzo, si encuentra valor menor de la carta de rendimiento, hacer la prueba de hermeticidad	1000 horas	Electricista de mantenimiento	
25	B	5	S	N	N	S	S					Hacer prueba de presión de refuerzo, si encuentra valor menor de la carta de rendimiento, hacer la prueba de hermeticidad	1000 horas	Electricista de mantenimiento	
25	B	6	S	N	N	S	N	N	N			Asegurar la aplicación del procedimiento de montaje de turbo después de una rotura de las turbinas (hacer procedimiento)		Ingeniero de confiabilidad	
25	B	7	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
25	B	8	S	N	N	S	N	N	N			Ningún mantenimiento preventivo			
26	A	1	N				N	N	N	S		Revisar visualmente la presencia de quemadura de los tubos ciclónicos del precleaner, si encuentra quemadura programar cambio del tubo del precleaner	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	Hacer procedimiento con fotos de valores que no son admisibles.
26	A	2	N				N	N	N	S		Revisar visualmente la presencia de grietas en la manguera entre el precleaner y el exhosto, si las encuentra programar cambio	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
26	A	3	N				N	N	N	S		Revisar visualmente la presencia de quemaduras en la manguera entre el precleaner y el exhosto (Si la manguera esta quemada revisar porque se quemó la manguera, exhosto y válvula antiretorno)	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	
26	A	4	N				N	N	N	S		Revisar que el efecto Venturi (vacío) entre la manguera que va del precleaner al exhosto exista, usando la mano. Si no hay efecto Venturi cambiar.	2000 horas	Mecánico de mantenimiento	Hacer procedimiento de cómo se mide el efecto Venturi y divulgarlo para realizar la tarea.
2	A	5	N				N	N	N	N		Ningún mantenimiento preventivo			

3	A	1												Ver análisis del sistema hidráulico				
3	A	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	3	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	4	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	5	S	N	N	S	N	S						Lavar la parte externa del radiador	250 horas	lavadores		
3	A	6	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	7	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	3												Ver análisis del sistema eléctrico				
3	B	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	B	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	B	3												Ver análisis del sistema eléctrico				
3	A	1	N				N	N	N				N	Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	A	3												Ver análisis del sistema eléctrico				
3	A	4	N				N	N	N	S				Iniciar el motor y abrir el interruptor y revisar que el Led de temperatura del refrigerante motor se encienda cuando el sistema CMS hace el barrido	Cada cambio turno	de Operador		
3	B	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	B	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	B	3												Ver análisis del sistema eléctrico				
3	B	4	N				N	N	N	S				Iniciar el motor, abrir el interruptor y revisar que la bocina emita sonido durante el barrido que realiza el CMS.	Cada cambio turno	de Operador		
3	C	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	C	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	C	3												Ver análisis del sistema eléctrico				
3	D	1	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				
3	D	2	S	N	N	S	N	N	N					Ningún mantenimiento preventivo				

