

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/348250107>

Aplicación de la técnica AMFEC: Análisis de los Modos de Falla, Efectos y Criticidad para optimizar el Plan de Mantenimiento de los Motores Caterpillar 3512

Technical Report · January 2021

CITATIONS

0

READS

13,905

2 authors:



Carlos Parra

Universidad Técnica Federico Santa María

270 PUBLICATIONS 805 CITATIONS

SEE PROFILE



Yair Teheran

Universidad Tecnológica de Bolívar

2 PUBLICATIONS 2 CITATIONS

SEE PROFILE



Trabajo final para optar por el Diploma de Certificación ASME:

“Especialización en Ingeniería de Mantenimiento, Mención Confiabilidad”

Aplicación de la técnica AMFEC: Análisis de los Modos de Falla, Efectos y Criticidad para optimizar el Plan de Mantenimiento de los Motores Caterpillar 3512 Embarcaciones Tipo Remolcador

Autor:

Teherán Suárez Yair Alexander

yteheran@hotmail.com

Asesor académico:

Carlos Parra

parrac@ingecon.net.in

Resumen:

El presente trabajo resume el proceso de análisis y aplicación de la metodología de AMFEC en el proceso de gestión del mantenimiento, específicamente en la etapa de la planeación, etapa considerada como crítica, para un Motor Propulsor Caterpillar 3512. El AMFEC (FMECA en inglés) consiste en las siguientes etapas: Definición de la intención de diseño, análisis funcional, identificación de modos de falla, efectos de la falla, criticidad o jerarquización del riesgo y recomendaciones. Con la aplicación del AMFEC se identificaron los modos de falla que representan un mayor riesgo para el equipo (considerando los riesgos al personal, al ambiente, a la prestación del servicio y a la operación de la embarcación). Los modos de falla de mayor riesgo, son analizados detalladamente y se define un proceso de selección de tareas de mantenimiento que ayude a minimizar sus consecuencias, mientras que los modos de falla de medio y bajo riesgo, son tratados con un nivel de tolerancia más flexible, en cuanto a la definición de sus estrategias de mantenimiento. Esto permite identificar los puntos críticos en donde el mantenimiento tendrá una mejor oportunidad para impactar la seguridad, la disponibilidad y la confiabilidad de la embarcación. Adicionalmente, este proceso también ayuda a optimizar los recursos del proceso de planeación del mantenimiento, los mismos ahora se enfocan en el impacto de los modos de fallas derivados de un análisis funcional, es decir, el plan de mantenimiento se ajusta al nivel de riesgo de cada modo de falla. La incorporación de analizar criterios de riesgos en la planeación del mantenimiento es una propuesta muy interesante, que requiere generar un nuevo procedimiento de análisis para determinar las necesidades reales de mantenimiento. Esto representa el mayor reto en la actualidad, ya que la resistencia al cambio de los paradigmas tradicionales de planificación son un obstáculo importante, principalmente por una concepción inadecuada del proceso de definición de planes óptimos de mantenimiento, el empleo de metodologías como el AMFEC no pretende cambiar como tal, la forma en la que se planifica el mantenimiento, sino la forma en la que se definen los tipos de actividades de mantenimiento a planificar. Los ajustes de los tipos de estrategias de mantenimiento por modo de falla, permitirá optimizar el proceso de planificación y programación de las actividades de mantenimiento, lo que generará una mejora general de los indicadores técnicos y económicos del proceso de gestión del mantenimiento: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y costos de mantenimiento preventivo y correctivo.

Palabras Claves: Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad AMFEC / Confiabilidad / Riesgo / RPN Numero de Prioridad de Riesgo.

TABLA DE CONTENIDO

0. RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	4
2. ATECEDENTES	4
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA METODOLOGÍA	5
4.1 Información a ser recopilada para el desarrollo del contexto operacional	5
4.2 Desarrollo del análisis de los modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC O FMECA)	5
4.3 Ejemplo desarrollo del análisis de los modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC O FMECA)	6
4.4 Actividades de mantenimiento	6
5. MODELO AMFEC O FMECA PROPUESTO PARA OBTENER EL PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LOS MOTORES PROPULSORES CATERPILLAR 3512.....	7
5.1 Definición de la intención de diseño del equipo	7
5.2 Volumen de control del modelo AMFEC o FMECA propuesto para obtener el plan de mantenimiento para los motores propulsores Caterpillar 3512	8
5.3 División del motor propulsor en sistemas	8
5.4 Descripción de la función de los sistemas del motor caterpillar 3512	9
5.5 Descripción de la función de los componentes de cada sistema	9
5.6 Identificación de la falla funcional y los modos de falla de cada componente	10
5.7 Evaluación de las consecuencias de las fallas	10
5.8 Medición del RPN mediante la severidad, la ocurrencia y la detección.....	10
6. ANALISIS DE RESULTADOS CON BASE A LOS RIESGOS ASOCIADOS POR MODO DE FALLA Y LA GENERACIÓN DEL PLAN DE MTTO PROPUESTO VS EL ACTUAL PLAN DE MTTO	25
7. ANALISIS DE INDICADORES DE DESEMPEÑO	31
8. CONCLUSIONES	35
9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Embarcación Tipo Remolcador.....	5
Figura 2. Curva de Comportamiento de Fallas	6
Figura 3. Diagrama de un Sistema de Propulsión	7
Figura 4. Motor Propulsor Caterpillar 3512.....	8
Figura 5. Volumen de Control Motor Propulsor Caterpillar 3512.....	8
Figura 6. Sistema Eléctrico de Arranque y Control	8
Figura 7. Sistema de Inyección de Combustible.....	8
Figura 8. Sistema de Enfriamiento.....	8
Figura 9. Sistema Motor Básico	8
Figura 10. Sistema de Admisión y Escape	8
Figura 11. Sistema de Lubricación.....	9
Figura 12. Sistema Estación del Operador	9
Figura 13. Cuadro de la Valoración de la Ocurrencia	9
Figura 14. Cuadro de la Valoración de la Severidad	9
Figura 15. Cuadro de la Valoración de la Detección	9

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. FMECA Motor Propulsor Caterpillar 3512	10
Tabla 2. Plan de Mantenimiento a partir del FMECA Motor Propulsor Caterpillar 3512	21
Tabla 3. Componentes, modos de falla y valor del riesgo asociado USD	26
Tabla 4. Costos de cada rutina del plan de mantenimiento actual	28
Tabla 5. Costo anual del plan de mantenimiento actual	28
Tabla 6. Costos de cada rutina del plan de mantenimiento Propuesto	29
Tabla 7. Costo anual del plan de mantenimiento Propuesto	29
Tabla 8. Cuadro resumen de indicadores de desempeño	3

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de análisis de riesgo son empleadas en la búsqueda y evaluación de escenarios que pueden representar un impacto adverso para una instalación, planta de proceso o equipo identificando los escenarios de mayor riesgo y emitiendo acciones de recomendación tendientes a minimizar el mismo. El principio de cualquier estudio de riesgo, está basado en encontrar respuesta a tres interrogantes: ¿Qué puede salir mal? ¿Qué tan frecuente es? ¿Cuáles son sus efectos?

Analizando y entendiendo la respuesta a estas preguntas, podemos entender los riesgos y diseñar mejores acciones para la prevención y control. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las acciones recomendadas se quedan así, en simples recomendaciones las cuales, en la mayoría de los casos no son implementadas o si lo son, no se les da seguimiento para validar el impacto real en la disminución del riesgo (COMIMSA, 2008).

Existen diferentes metodologías de identificación de peligros, empleadas como parte del proceso de evaluación de riesgos, tales como (AIChE, 1992):

- Estudios de peligro y operabilidad (HazOp, Hazard and Operability).
- Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA, por sus siglas en inglés, Failure Mode and Effect and Criticality Analysis).
- Listas de verificación.
- Árboles de falla.
- Árboles de eventos, etc.

Dependiendo de las necesidades del estudio y de las características de los resultados deseados, será la técnica a seleccionar.

Dentro de las mencionadas metodologías de identificación de peligros, el Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad, AMFEC (FMECA, por sus siglas en inglés), en combinación con una valoración del riesgo utilizando parámetros de severidad y ocurrencia, es normalmente empleada para la planeación del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), ya que nos permite lograr un entendimiento global del sistema, así como del funcionamiento y la forma en la que pueden presentarse las fallas de los equipos que componen este sistema. Las acciones de recomendación derivadas de un AMFEC o FMECA el cual para su valoración del riesgo utiliza los parámetros de severidad, ocurrencia y detección quedan definidas como acciones, tareas o actividades de mantenimiento. Lo que permite diseñar una estrategia completa de mantenimiento aplicando criterios de riesgo para cada activo o equipo considerado en la evaluación, de esta forma poder evaluar el impacto del plan de mantenimiento en el riesgo de la planta, instalación, para nuestro caso embarcación o equipo así como también, asegurar que el plan de mantenimiento es aplicado en los equipos que representan un mayor riesgo para las personas, el medio ambiente, la prestación del servicio, la producción y los activos.

1. ANTECEDENTES

Desde comienzos de nuestra historia, hemos observado como el hombre ha realizado un sinnúmero de tareas con la finalidad de satisfacer sus necesidades básicas. Así mismo el tiempo ha ido transcurriendo y dichas necesidades del hombre han ido creciendo, debido a esto es que continuamente visualizamos al ser humano en actividades de mayor complejidad.

El FMECA es un método que fue introducido formalmente en los últimos años de la década del 40, con propósitos militares, por las fuerzas armadas de los E.E.U.U. Fue utilizado más adelante para el espacio aéreo en el desarrollo del cohete con el fin evitar errores en su costosa tecnología. Un ejemplo de esto es el programa del espacio de Apolo. El empuje primario vino du-

rante los años 60, mientras que desarrollaban los medios para poner a un hombre en la luna y de conseguirlo hacerlo con seguridad. En los últimos años de la década de los 70 Ford Motor Company introdujo el FMECA a la industria del automóvil para mejorar la producción, la seguridad y el diseño. Aunque es una metodología inicialmente utilizada en el sector militar, la metodología de FMECA ahora se utiliza extensivamente en una variedad de diversas industrias. El FMECA se convierte en una herramienta de gestión del riesgo al jerarquizar los modos de falla teniendo en cuenta la severidad, la ocurrencia y la detección, con lo cual se busca focalizar las actividades o planes de mantenimiento en los modos de fallo que generen un mayor riesgo.

2. JUSTIFICACIÓN

El operador de embarcaciones en donde se realizó este estudio es una empresa de servicios al sector marítimo y portuario, con presencia en algunos países de América Latina. Esta compañía ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos 5 años debido a la alta demanda del sector marítimo en sus diferentes cadenas de servicio:

- Asistencia en Puertos
- Operación de Puertos Carboneros & Petroleros
- Apoyo en operaciones Petroleras costa afuera
- Remolques & Transporte Marino
- Rescate & Salvamento
- Control de Incendios, Derrames & Contaminación
- Apoyo a la Construcción Marina

Este crecimiento se ve reflejado directamente en la flota de embarcaciones de la compañía ya que por intermedio de ellas es que se realiza la prestación del servicio. Para el año 2009 la flota era de 10 embarcaciones, en la actualidad la flota supera las 30 embarcaciones y con proyecciones de seguir creciendo a corto plazo por la incursión en nuevos mercados. Hasta el año 2012 la compañía soporto su operación con un grupo excepcional de personas las cuales conformaron el departamento de mantenimiento basando su estrategia en el mantenimiento preventivo y correctivo, pero debido a la multiplicación de la flota de embarcaciones sus esfuerzos empezaron a ser sobrehumanos lo que obligo a la compañía pensar en otras estrategias y metodologías de mantenimiento que le permitiera soportar la operación con los más altos niveles de disponibilidad y confiabilidad. El plan de mantenimiento es el cimiento sobre el cual se construye la disponibilidad y la confiabilidad en todas las plantas de la industria a nivel mundial, definiendo estas embarcaciones como plantas autónomas que se utilizan para realizar un trabajo y/o prestar un servicio a la industria. Dentro del proceso de gestión del mantenimiento, específicamente en la etapa de la planeación del mantenimiento surge un factor de alto impacto relacionado con el uso de los recursos por lo que se tienen que tomar decisiones que permitan orientar los recursos financieros, humanos y tecnológicos, con el fin de poder desarrollar los planes de mantenimiento en los distintos equipos que participan en el proceso de prestación de servicio de las embarcaciones. Esta situación no se define de manera arbitraria, ya que existen una gran cantidad de factores involucrados que generan una gran incertidumbre, por tal motivo, aplicaremos el **Análisis de los Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC o FMECA)** a los motores propulsores debido a que son el equipo más crítico dentro de una embarcación tipo remolcador ya que de estos depende la propulsión, la potencia remolcador, el funcionamiento de equipos de cubierta como cabrestantes y grúas si sus sistemas como el hidráulico tienen como unidad motriz el motor propulsor y sobretodo la capacidad de tiro (Bollard Pull) con lo cual se pactan los acuerdos comerciales. La flota total de la compañía a la cual se le realiza

el análisis es de 33 embarcaciones, dicho lo anterior la población es de 66 motores propulsores en total, 25 embarcaciones tienen motores propulsores CATERPILLAR 3500, esto representa el 75,8% de la población y de estas 25 embarcaciones, 19 embarcaciones tienen motores propulsores CATERPILLAR 3512 representando así el 57,6% de la población, lo que justifica el presente trabajo **Análisis de los Modos de Falla, Efectos y Criticidad (AMFEC o FMECA) Obteniendo como Resultado el Plan de Mantenimiento para Motores Caterpillar 3512 para un Operador de Embarcaciones Tipo Remolcador**. El presente trabajo a su vez nos dará las bases para realizar el análisis del resto de motores 3500 CATERPILLAR optimizando el plan de mantenimiento del 75,8% de la población total de motores propulsores.

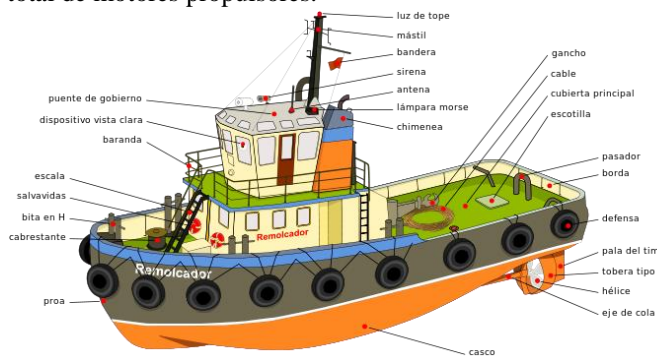


Figura 1. Embarcación Tipo Remolcador

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA METODOLOGÍA

La función principal del AMFEC o FMECA es la de organizar las tareas proactivas y reactivas de mantenimiento que se deben ejecutar después de haber realizado exhaustivamente el análisis de todos los modos de fallo de la planta, instalación, sistema, equipo o componente. El método procedimental del AMFEC o FMECA parte del concepto de que ya se conocen todas las fallas reales y potenciales, se sabe de los modos de falla que se pueden presentar y se tiene un perfecto dominio de todas las funciones principales y auxiliares de los elementos por evaluar con el procedimiento. Por su parte la función del RPN es jerarquizar los modos de falla con el objetivo de proponer cada una de las tareas de mantenimiento en los diferentes elementos del equipo, con el fin de priorizar los esfuerzos donde más se requiera de acuerdo con el riesgo que conlleva la falla. Cada falla que se pueda presentar en una planta de proceso representa un riesgo potencial, por lo cual es esencial entender cómo se presenta, entendiendo la forma en que los equipos fallan, podremos diseñar mejores acciones proactivas y/o reactivas. En este caso, las acciones son tareas de mantenimiento. Estas acciones, son derivadas del proceso de análisis de modos de falla, de manera que a cada modo de falla le corresponde una tarea. Podemos definir entonces un modo de falla, como la forma en que un equipo o activo falla. Es importante para el entendimiento de la falla, poder identificar los dos diferentes estados de falla que se pueden presentar: 1. Aquel estado de falla, en el cual un activo simplemente deja de funcionar. 2. Aquel estado en el cual el activo no desempeña su función conforme a un estándar de desempeño deseado o bien, conforme a las necesidades que el usuario tiene, pero no necesariamente deja de funcionar, esta es la condición más importante de este estudio y se denomina “falla funcional”, así, una falla será aquella que evita que un activo desempeñe su función conforme a un estándar de desempeño definido.

3.1 INFORMACIÓN A SER RECOPIADA PARA EL DESARROLLO DEL CONTEXTO OPERACIONAL:

- Perfil de operación
- Ambiente de operación
- Calidad/disponibilidad de los insumos requeridos (Combustible, aire, etc.)
- Alarmas, Monitoreo de primera línea.
- Políticas de repuestos, recursos y logística. P&ID’s del sistema.
- Esquemáticos del sistema y/o diagramas de bloque. Normalmente estos son desarrollados a partir de los P&ID’s.

Manuales de Diseño y Operación de los Sistemas. Estos proveerán información de la función esperada de los sistemas, como se relacionan con otros sistemas y que límites operacionales y reglas básicas son utilizadas. Función es el propósito o misión de un activo en un contexto operacional específico.

3.2 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC O FMECA)

El Análisis de los Modos, Efectos y Criticidad de Fallas constituye la herramienta principal para identificar estrategias efectivas de mantenimiento, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada.

El AMFEC o FMECA es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos, servicios y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado.

Por lo expresado anteriormente, se deduce que el objetivo básico del AMFEC o FMECA, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, e identificar las posibles consecuencias o efectos de las fallas en función de tres criterios básicos: seguridad humana, ambiente y operaciones (producción). Para poder cumplir con este objetivo, se debe realizar el AMFEC o FMECA en consecuencia de: Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de ejecución. Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo. Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional. Establecer los efectos o las consecuencias asociadas a cada modo de falla.

Función es el propósito o la misión de un activo en un contexto operacional específico.

Falla de función es el suceso que no permite que el activo alcance el funcionamiento de manera satisfactoria.

Modo de falla es la forma en que puede fallar el activo.

Efectos de la falla es la consecuencia que traerá un modo de falla en el contexto operacional. (Woodhouse, J. “Course of Reliability-Centered Maintenance, Section two: Failure Modes and Effects Analysis”, The Woodhouse Partnership, England -1993).

3.3 EJEMPLO DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC O FMECA).

El nivel al cual se gestiona el mantenimiento de un activo, se relaciona con el nivel al cual se identifica el modo de falla. Muchas veces el nivel al cual se identifica el modo de falla no corresponderá al nivel de detalle seleccionado para analizar el activo y sus funciones, por lo cual, para poder desarrollar un

sistema de gestión de mantenimiento de un determinado grupo de activos en un contexto operacional, es necesario identificar el nivel al cual se producirán los distintos modos de fallas asociados a las funciones de un activo en su actual contexto operacional. Para entender esta parte se utiliza el siguiente ejemplo:

- Activo: Bomba centrífuga: P - 101.
- Función (con respecto a los estándares de ejecución esperados): 1. Transferir agua del tanque X hasta el tanque Y a no menos de 800 litros por minuto.
- Fallas Funcionales 1.A. No ser capaz de transferir nada de agua. 1.B. Transferir menos de 800 litros por minuto.
- Modos de Falla 1.A.1. Cojinetes desgastados (nivel de detalle: parte). 1.A.2. Eje del impulsor fracturado (nivel de detalle: parte). 1.A.3. Impulsor trancado por entrada de objeto extraño (nivel de detalle: parte). 1.A.4. Motor quemado (nivel de detalle: equipo). 1.A.5. Línea de succión totalmente bloqueada (nivel de detalle: parte). 1.B.1. Impulsor desgastado (nivel de detalle: parte). 1.B.2. Línea de succión parcialmente bloqueada.
- Consecuencias: 1.A.1.1 Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Bomba cojinetes desgastados, desalinea el eje de la bomba impidiendo el giro del impulsor. Acción correctiva: Reparar bomba cambio de cojinetes. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP:1200 USD/hora Riesgo: 2400 USD/año. (Parra, Carlos. "Course of Reliability- Centered Maintenance", Universidad de los Andes, Mérida - Venezuela, 1998).

3.4 ACTIVIDADES DEMANTENIMIENTO

Las actividades de mantenimiento a ejecutar se clasifican en las siguientes categorías:

Tareas de monitoreo por condición

Las actividades programadas en base a condición (predictivas), se basan en el hecho de que la mayoría de los modos de fallas no ocurren instantáneamente, sino que se desarrollan progresivamente en un período de tiempo. Si la evidencia de este tipo de modos de fallas puede ser detectada bajo condiciones normales de operación, es posible que se puedan tomar acciones programadas en base a la condición del activo, que ayuden a prevenir estos modos de fallas y/o eliminar sus consecuencias.

El momento en el proceso en el cual es posible detectar que la falla funcional está ocurriendo o está a punto de ocurrir es conocido como falla potencial. De esta forma se puede definir falla potencial: como una condición física identificable la cual indica que la falla funcional está a punto de ocurrir o que ya está ocurriendo dentro del proceso. Entre los ejemplos más comunes de fallas potenciales tenemos:

Lecturas de vibración que indiquen inminentes fallas en los cojinetes.

Grietas existentes en metales indican inminentes fallas por metales fatigados.

Partículas en el aceite de una caja de engranajes, indican inminentes fallas en los dientes de los engranajes.

Puntos calientes indican deterioro en el material refractario del hogar de una caldera, etc.

El comportamiento en el tiempo de gran parte de los distintos tipos de modos de fallas se ilustra en la siguiente figura: Curva del comportamiento de las fallas potenciales. En esta figura, se

muestra como una falla comienza a ocurrir (punto de inicio "I", muchas veces este punto no puede ser detectado), incrementado su deterioro hasta el punto en el cual la falla puede ser detectado (punto de falla potencial "P"). Si en este punto la falla no es detectada y corregida, continua aumentando su deterioro (usualmente de forma acelerada) hasta que alcanza el punto donde se produce la falla funcional (punto "F", el activo ha dejado de cumplir su función).

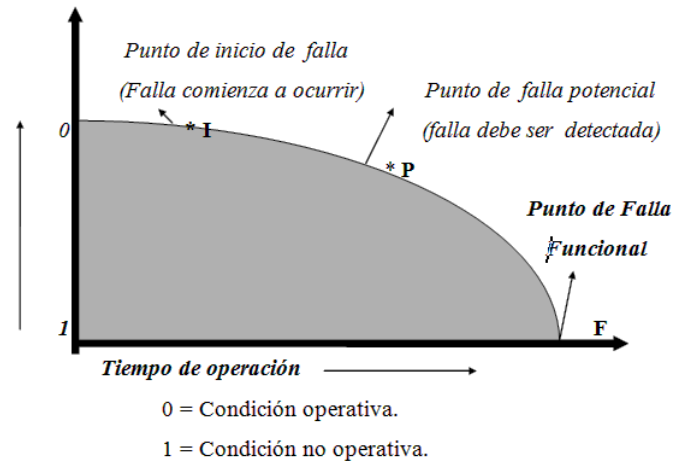


Figura 2. Curva de Comportamiento de Fallas

Tareas de reacondicionamiento

Como su nombre lo indica, las tareas de reacondicionamiento, se refieren a las actividades periódicas que se llevan a cabo para restaurar un activo (sistema, equipo, parte) a su condición original. En otras palabras las actividades de restauración programada, son aquellas actividades de prevención realizadas a los activos (en la mayoría de los casos equipos mayores) a un intervalo de frecuencia menor al límite de vida operativo del activo, en función del análisis de sus funciones en el tiempo. En este tipo de actividades de mantenimiento preventivo, los activos son puestos fuera de servicio, se desarman, se desmontan, se inspeccionan de forma general y se corrigen y reemplazan de ser necesario, partes defectuosas, con el fin de prevenir la aparición de posibles modos de fallas. Las tareas de restauración programadas son conocidas como "overhauls", y su aplicación más común es en equipos mayores: compresores, turbinas, calderas, hornos, bombas de múltiples etapas, etc.

Tareas de sustitución – reemplazo programado

Este tipo de actividad preventiva está orientada específicamente hacia el reemplazo de componentes o partes usadas de un activo, por unos nuevos, a un intervalo de tiempo menor al de su vida útil (antes de que fallen). Las actividades de descarte programado le devolverán la condición original al componente, ya que el componente viejo será reemplazado por uno nuevo. La diferencia entre las tareas de descarte programado y las tareas de restauración programada es que las primeras son aplicadas a componentes y/o partes de un activo y no a activos complejos (activos con varios componentes), y a su vez la acción a ejecutar en las tareas de descarte programado es específicamente el reemplazo de un componente viejo por uno nuevo. En el caso de las tareas de restauración programada las acciones a ejecutar pueden ser: ajustar, inspeccionar, mejorar, limpiar, restaurar y hasta cambiar partes viejas por nuevas.

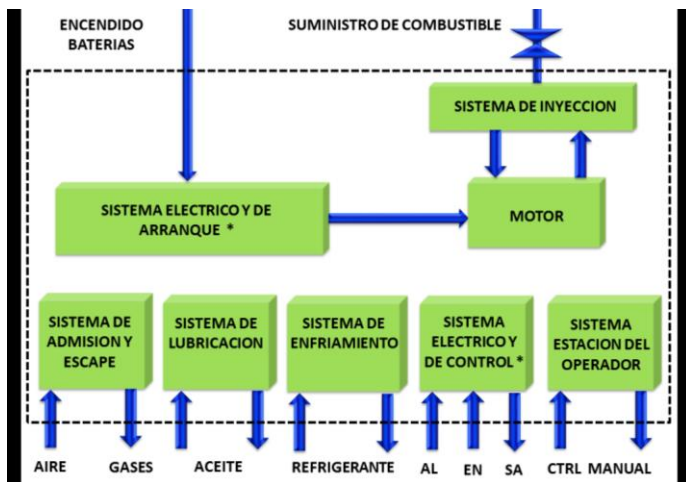


Figura 5. Volumen de Control Motor Propulsor Caterpillar 3512

* El sistema eléctrico, de arranque y de control hacen parte del mismo sistema.

MOTOR PROPULSOR CATERPILLAR 3512	
SISTEMAS MOTOR PROPULSOR	COMPONENTES / PARTES
S. ELÉCTRICO DE ARRANQUE Y CONTROL	CABLEADO
	CAJA DE CONTROL
	CONECTORES ELÉCTRICOS
	CONTACTORES
	CONVERTIDOR ELECTRICO
	DIODO
	ECM
	INTERRUPTOR DE NIVEL
	MÓDULO DE COMUNICACIÓN
	MOTOR DE ARRANQUE
	SENSOR DE POSICIÓN DEL ACELERADOR
	SENSOR DE PRESIÓN AL CÁRTER
	SENSOR DE PRESIÓN ATMOSFÉRICA
	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE
	SENSOR DE PRESIÓN DE COMBUSTIBLE
	SENSOR DE PRESIÓN DE ENTRADA DE TURBOS
	SENSOR DE PRESIÓN DE SALIDA DE TURBOS
	SENSOR DE TEMPERATURA DEL POSENFRIADOR
	SENSOR DE TEMPERATURA DEL REFRIGERANTE
	SENSOR MAGNÉTICO
SISTEMA DE ARRANQUE	
SOLENOIDES	
TERMOCUPLAS	

Figura 6. Sistema Eléctrico de Arranque y Control

4.3 DIVISIÓN DEL MOTOR PROPULSOR EN SISTEMAS

MOTOR PROPULSOR CATERPILLAR 3512	
SISTEMAS MOTOR PROPULSOR	COMPONENTES / PARTES
S. DE INYECCIÓN	BOMBA DE CEBADO
	BOMBA DE TRANSFERENCIA
	FILTRO DE COMBUSTIBLE
	INYECTOR DE COMBUSTIBLE
	LÍNEAS DE COMBUSTIBLE

Se ha dividido el motor propulsor Caterpillar 3512 en 7 sistemas para realizar el análisis de los modos de falla. Cada sistema cuenta con sus respectivos componentes o partes, los cuales tienen sus funciones específicas definidas e interactuando entre si cumplen la función del sistema en el motor.

Figura 7. Sistema de Inyección de Combustible

MOTOR PROPULSOR CATERPILLAR 3512	
SISTEMAS MOTOR PROPULSOR	COMPONENTES / PARTES
S. DE ENFRIAMIENTO	BOMBA DE AGUA
	ENFRIADOR DE ACEITE
	INDICADOR DE NIVEL
	LÍNEAS DE AGUA
	REGULADOR DE TEMPERATURA
	TANQUE DE EXPANSIÓN

Figura 8. Sistema de Enfriamiento

MOTOR PROPULSOR CATERPILLAR 3512	
SISTEMAS MOTOR PROPULSOR	COMPONENTES / PARTES
S. MOTOR BÁSICO	ANTI VIBRADOR
	BLOQUE DE CILINDROS
	BUJES
	CARACA DEL VOLANTE
	CARACA FRONTAL
	CIGÜEÑAL
	CULATAS
	DEPÓSITO DE ACEITE
	EJE DE LEVAS
	ENGRANAJES
	LÍNEA DE POTENCIA
	MECANISMOS DE VÁLVULAS
	SELLOS
	SOPORTE DEL MOTOR
	SUJETADORES ROSCADOS
	TAPAS DE PROTECCIÓN Y REGISTRO
	VOLANTE

Figura 9. Sistema Motor Básico

MOTOR PROPULSOR CATERPILLAR 3512	
SISTEMAS MOTOR PROPULSOR	COMPONENTES / PARTES
S. DE LUBRICACIÓN	BOMBA DE ACEITE MOTOR
	BOMBA DE PRELUBRICACIÓN
	FILTRO DE ACEITE
	LÍNEAS DE ACEITE

Figura 10. Sistema de Lubricación

MOTOR PROPULSOR CATERPILLAR 3512	
SISTEMAS MOTOR PROPULSOR	COMPONENTES / PARTES
S. DE ADMISIÓN Y ESCAPE	FILTRO DE AIRE
	LÍNEAS DE ACEITE DEL TURBOCARGADOR
	LÍNEAS DE AIRE
	LÍNEAS DE ESCAPE
	MÚLTIPLE DE ESCAPE
	POSENFRIADOR
	TURBOCARGADOR

Figura 11. Sistema de Admisión y Escape

MOTOR PROPULSOR CATERPILLAR 3512	
SISTEMAS MOTOR PROPULSOR	COMPONENTES / PARTES
S. ESTACIÓN DEL OPERADOR	INSTRUMENTOS DE FLUJO
	INSTRUMENTOS DE NIVEL
	INSTRUMENTOS DE PRESIÓN
	INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA
	INSTRUMENTOS DE VELOCIDAD
	MÓDULO DE ALARMAS Y PROTECCIONES
	MONITOR

Figura 12. Sistema Estación del Operador

4.4. DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN DE LOS SISTEMAS DEL MOTOR CATERPILLAR 3512

SISTEMA ELECTRICO, DE ARRANQUE Y CONTROL: Proveer la energía necesaria para el arranque del motor y el correcto funcionamiento de los accesorios eléctricos y de monitoreo.

SISTEMA DE INYECCIÓN: Inyectar combustible limpio en la cantidad exacta, en el momento preciso y a la presión especificada. Presión de combustible: Entre 44 - 87 Psi Temperatura: Entre 80 - 91 °F (26°C - 33°C).

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO: Refrigerar las partes calientes del motor para situarlo en una temperatura optima de funcionamiento. Temperatura del refrigerante: Entre 183 - 197 °F (83 - 92°C).

SISTEMA MOTOR BÁSICO: Generar potencia a través de la energía mecánica resultante de un proceso químico de combustión interna.

SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE: Admisión de aire limpio a los cilindros del motor a temperatura ideal de trabajo entre 50°F y 122°F (10 - 50 °C) con una presión entre 50 y 90 In_Hg. (24,5 y 44,2 Psi). Recoger los gases de escape desde los cilindros y entregarlos a la atmósfera.

SISTEMA DE LUBRICACIÓN: Lubricar las partes móviles del motor. Presión de aceite: Entre 22 - 87 Psi.

SISTEMA ESTACIÓN DEL OPERADOR: Hacer la conexión de los sistemas de control, monitoreo y alarmas del motor, para el intercambio de datos entre el operador y los sistemas

del motor. Haciendo posible recibir información sobre el estado de los dispositivos de control, monitoreo, alarmas y variables en tiempo real.

4.5. DESCRIPCIÓN DE LA FUNCIÓN DE LOS COMPONENTES DE CADA SISTEMA. 5.6 IDENTIFICACIÓN DE LA FALLA FUNCIONAL Y LOS MODOS DE FALLA DE CADA COMPONENTE. 5.7 EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS. 5.8 MEDICIÓN DEL RPN MEDIANTE LA SEVERIDAD, LA OCURRENCIA Y LA DETECCIÓN.

A continuación se describen las funciones de los componentes dentro del del motor, se identifican las fallas funcionales y los modos de falla de cada componente, se evalúan las consecuencias de las fallas de acuerdo a :

El cálculo del riesgo económico por modo de falla (Dólares EE.UU (USD)/año) desarrollado en la tercera columna denominada: "Consecuencias de las Fallas" se realizó a partir de la siguiente expresión:

$$R = FF \times TPRR \times IP = \text{USD/año}$$

Dónde,

FF: Frecuencia de fallas por año: fallas/año.

TPRR: Tiempo promedio para reparar: horas/falla.

IP: Impacto en prestación del servicio por hora: USD/hora.

El costo de la prestación de servicio de la embarcación tipo remolcador es de 800 USD/hora. Después de establecidas Todas las funciones, las fallas funcionales, sus correspondientes modos de falla y sus consecuencias, procedemos a calificar la ocurrencia, la severidad y la detección con el fin de constituir el valor del RPN, (Numero de prioridad de Riesgo) con el cual jerarquizaremos el riesgo de cada modo de falla y a su vez las tareas proactivas o reactivas que se deben realizar para erradicar o controlar las fallas. Al jerarquizar el riesgo lo haremos de mayor a menor RPN por componente evaluado y seguidamente seguirán los demás modos de falla de ese mismo componente.

CÁLCULO DEL RPN

$$RPN = \text{Ocurrencia} \times \text{Severidad} \times \text{Detección} = O \times S \times D$$

OCURRENCIA	
Criterio: Frecuencia de fallas representadas en una escala	Escala
Diario	10
2 x Semana	9
Semanal	8
Quincenal	7
Mensual	6
Bimensual	5
Trimensual	4
Semestral	3
Anual	2
Menos de 1 Anual	1

Figura 13. Cuadro de la Valoración de la Ocurrencia

SEVERIDAD	
Criterio: Costo resultante del TPR x IP	Escala
Mas de 100.000 USD	10
Entre 40.000 UDS y 99.000 USD	9
Entre 20.000 USD y 39.999 USD	8
Entre 10.000 USD y 19.999 USD	7
Entre 5000 USD y 9.999 USD	6
Entre 2.500 USD y 4.999 USD	5
Entre 1.000 USD y 2.499 USD	4
Entre 400 USD y 999 USD	3
Entre 200 USD y 399 USD	2
Entre 0 USD y 199 USD	1

Figura 14. Cuadro de la Valoración de la Severidad

DETECCIÓN		
Detección	Criterio: Probabilidad de la prueba conducida detecte anomalía antes que la falla se presente	Escala
Casi Imposible	Prueba detecta < 60 % de fallas	10
Muy Remota	Prueba debe detectar 60 % de fallas	9
Remota	Prueba debe detectar 65 % de fallas	8
Muy Baja	Prueba debe detectar 70 % de fallas	7
Baja	Prueba debe detectar 75 % de fallas	6
Moderada	Prueba debe detectar 80 % de fallas	5
Altamente Moderada	Prueba debe detectar 85 % de fallas	4
Alta	Prueba debe detectar 88 % de fallas	3
Muy Alta	Prueba debe detectar 93 % de fallas	2
Casi Seguro	Prueba debe detectar 98 % da fallas	1

Figura 15. Tabla de la Valoración de la Detección

A continuación se presenta el AMFEC con su respectivo RPN de los modos de fallas del sistema seleccionado:

Componente / Función	Falla Funcional / Modos de Falla	Consecuencias de las Fallas FF: Frecuencia de Fallas TPPR: Tiempo Promedio para Reparar IP: Impacto en la Prestación de Servicio	OCU.	SEV.	DET.	RPN
1. Inyector / Producir la inyección de combustible líquido finamente pulverizado en el momento indicado y en la cantidad justa de acuerdo al régimen de funcionamiento del motor.	1.a Cantidad errónea de combustible inyectado a la cámara. / 1.a.1 Inyector en mal estado.	1.a.1.a. Evidente / No evidente: si. Afecta SHA: no. Efecto operacional (síntomas): Humo excesivo pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambiar inyectores. FF: 1 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 38400 USD/año	2	8	9	144
2. Bomba de agua / Proporcionar la circulación del líquido refrigerante por el sistema de enfriamiento, transportando el calor sobrante hacia el exterior.	2.a Alta temperatura del refrigerante. / 2.a.1 Bomba de agua defectuosa.	2.a.1.a. Evidente / No evidente: si. Afecta SHA: no. Efecto operacional (síntomas): Alta temperatura en el motor. Acción correctiva: Cambiar bomba de agua. FF: 1 fallas/año. TPPR: 26 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 20800 USD/año	2	8	7	112
3. Módulo de alarmas y protecciones / Anunciar por medio sonoro, visual y proteger el equipo cuando está ocurriendo un evento que se sale de los parámetros establecidos por el fabricante.	3.a No hay advertencia de sucesos ni acciones de protección. / 3.a.1 Perdida de calibración de alarmas y protecciones.	3.a.1.a. Evidente / No evidente: si. Afecta SHA: no. Efecto operacional (síntomas): Alarmas y protecciones actúan cuando no es necesario o no actúan. Acción correctiva: Realizar protocolo de alarmas y comprobar protecciones. FF: 1 fallas/año. TPPR: 12 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 9600 USD/año.	2	6	8	96
	3.a No hay advertencia de sucesos ni acciones de protección. / 3.a.2 Falso contacto.	3.a.2.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): No se advierte en el equipo algún parámetro fuera de control. Acción correctiva: Realizar protocolo de alarmas y comprobar protecciones. FF: 1 fallas/año. TPPR: 6 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 4800 USD/año.	2	5	9	90
4. Línea de Potencia / Comprimir el aire de admisión a la presión especificada para generar la combustión dentro de la cámara y transmitir esta energía al cigüeñal.	4.a El aire no alcanza la presión especificada. / 4.a.1 Grietas en los pistones.	4.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): No se alcanza la presión necesaria dentro de la cámara de combustión en la carrera de compresión debido al escape de gases, pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambio completo de la línea de potencia. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 9600 USD/año.	1	8	9	72
	4.a El aire no alcanza la presión especificada. / 4.a.2 Desgaste anormal de anillos.	4.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): No se alcanza la presión necesaria dentro de la cámara de combustión en la carrera de compresión debido al escape de gases, pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambio de anillos y camisas, evaluación de bielas y pistones. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 7680 USD/año.	1	8	7	56

	4.a El aire no alcanza la presión especificada. / 4.a.3 Desgaste anormal de la camisa.	4.a.3.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): No se alcanza la presión necesaria dentro de la cámara de combustión en la carrera de compresión debido al escape de gases, pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambio de camisas y anillos, evaluación de bielas y pistones. FF: 0,167 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 6413 USD/año.	1	8	7	56
5. Cigüeñal / Convertir el movimiento recíprocante de los pistones en movimiento circular.	5.a No transmite movimiento circular al volante del motor. / 5.a.1 Fractura.	5.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): No hay compresión de aire, golpes en el motor, falla catastrófica. Acción correctiva: Reparación general del motor. FF: 0,1 fallas/año. TPPR: 600 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 48000 USD/año.	1	10	9	90
6. Sensor de posición del acelerador / Detectar el movimiento del dispositivo de aceleración y traducirlo en valores de voltaje.	6.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 6.a.1 Sensor en mal estado.	6.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor no arranca o se apaga en funcionamiento. Acción correctiva: Cambiar el sensor. FF: 2 fallas/año. TPPR: 1 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	3	3	9	81
	6.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 6.a.2 Señal anormal de la posición del acelerador.	6.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor con RPMs inestables tanto en mínimas como en altas RPMs. Acción correctiva: Cambiar el sensor. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 14 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2240 USD/año.	1	7	9	63
7. Sensor de presión de aceite / Medir la presión bajo la cual se encuentra el aceite lubricante, Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC.	7.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 7.a.1 Sensor de presión de aceite abierto o con corto a batería.	7.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Apagado automático del motor. Acción correctiva: Revisión y reparación del circuito, cambiar el sensor. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 52 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 8320 USD/año.	1	9	9	81
	7.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 7.a.2 Sensor defectuoso.	7.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Sobrecalentamiento del motor, apagado automático del motor. Acción correctiva: Revisión y reparación del circuito, cambiar el sensor. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 25 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 10000 USD/año.	1	8	9	72
8. Cableado / Llevar voltaje, corriente y señales dentro de un sistema eléctrico.	8.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 8.a.1 Cable sin continuidad.	8.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Parámetros errados de operación, reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Revisión y reparación del circuito eléctrico, cambio del cableado. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 26 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 10400 USD/año.	1	8	9	72

	8.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 8.a.2 Alta resistencia.	8.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Parámetros errados de operación, reducción de potencia. Acción correctiva: Revisión y reparación del circuito eléctrico. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 25 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 6660 USD/año.	1	8	8	64
	8.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 8.a.3 Cortocircuito a tierra.	8.a.3.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Parámetros errados de operación, reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: cambio del cableado. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 14 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2240 USD/año.	1	7	8	56
9. Sensor de presión al cárter / Medir la presión que ejercen los gases en la parte baja del motor. Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC.	9.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 9.a.1 Sensor en mal estado.	9.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Cambio del Sensor. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 26 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 5200 USD/año.	1	8	9	72
	9.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 9.a.2 Sensor con cortocircuito a tierra.	9.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Revisión del circuito, cambio del Sensor. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 16 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 4263 USD/año.	1	7	9	63
10. Motor de arranque / Dar arranque al motor Diésel. Consumo de corriente a 20V y 25 °C (77 °F): 1. Para accionar es de 57 amperios. 2. Para sostenerse es de 16 Amp. Max.	10.a Motor de arranque no enciende, no es capaz de dar inicio al ciclo del motor Diésel. / 10.a.1 Bajo Voltaje o no hay voltaje.	10.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor Diésel no arranca. Acción correctiva: Revisión de la batería y el circuito eléctrico de arranque. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 30 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 12000 USD/año.	1	8	9	72
	10.a Motor de arranque no enciende, no es capaz de dar inicio al ciclo del motor Diésel. / 10.a.2 Falla en el solenoide del motor de arranque.	10.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor Diésel no arranca. Acción correctiva: Cambio del solenoide del motor de arranque. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 28 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 5600 USD/año.	1	8	9	72
	10.a Motor de arranque no enciende, no es capaz de dar inicio al ciclo del motor Diésel. / 10.a.3 Motor de arranque en mal estado.	10.a.3.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor Diésel no arranca. Acción correctiva: Cambio del motor de arranque. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 30 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 4800 USD/año.	1	8	8	64

11. Sensor de presión atmosférica / Medir la presión atmosférica para servir de referencia a los demás sensores del motor lo cual ayuda a la regulación de la inyección de combustible con base a la altura en que se encuentra el motor. Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC.	11.a Interrupción de las señales eléctricas o envío de señales defectuosas. / 11.a.1 Sensor de presión atmosférica con cortocircuito a tierra.	11.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Revisión del circuito, cambiar el sensor. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 26 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 5200 USD/año.	1	8	9	72
	11.a Interrupción de las señales eléctricas o envío de señales defectuosas. / 11.a.2 Sensor defectuoso.	11.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar el sensor. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 26 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 4160 USD/año.	1	8	9	72
12. Interruptor de nivel / Enviar señal eléctrica de la presencia o nivel de un líquido. Rango de temperatura -53 Hasta 107 °C (-63 a 225 ° F) Posición de contacto normalmente cerrado.	12.a No se envía señal eléctrica. / 12.a.1 Cable sin continuidad.	12.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Revisión y reparación del circuito eléctrico. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 26 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 6926 USD/año.	1	8	9	72
	12.a No se envía señal eléctrica. / 12.a.2 Daño en el interruptor.	12.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Reducción de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar el sensor. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 7 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2800 USD/año.	1	6	8	48
13. Líneas de aceite / Interconectar y conducir el aceite lubricante a través de todo el sistema de lubricación del motor.	13.a Baja presión del aceite lubricante. / 13.a.1 Fugas en tuberías y/o mangueras.	13.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Sobrecalentamiento, desgaste adhesivo, apagado del motor. Acción correctiva: Eliminar fugas. FF: 2 fallas/año. TPPR: 1 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	3	3	8	72
	13.a Baja presión del aceite lubricante. / 13.a.2 Obstrucción de galerías o tuberías.	13.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Sobrecalentamiento, desgaste adhesivo. Acción correctiva: Limpieza de líneas y galerías. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 25 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 5000 USD/año.	1	8	8	64
14. Culatas / Cerrar herméticamente la cámara de combustión, controlar el reciclaje de los gases y disipar el calor.	14.a El aire no alcanza la presión especificada. / 14.a.1 Fractura de tornillo (s) de culata.	14.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): No se permite un cierre hermético entre la culata, empaque, espaciador y bloque permitiendo paso de líquidos a otros sistemas, ocasionando contaminación del motor y pérdida de compresión. Acción correctiva: Cambiar toda la tornillería de culata, cambiar empaques, y cambiar de fluidos. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 7680 USD/año.	1	8	9	72

	14.a El aire no alcanza la presión especificada. / 14.a.2 Fractura del resorte de válvula.	14.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Las válvulas no se cierran causando que esta se parta en el momento de la carrera de compresión o escape del pistón, dando origen a una falla catastrófica en el motor. Acción correctiva: Reparar parcialmente el motor, cambiar culata, cambiar línea de potencia afectada. FF: 0,166 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 6374 USD/año.	1	8	9	72
	14.a El aire no alcanza la presión especificada. / 14.a.3 Rotura de empaque de culata.	14.a.3.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Paso de gases al sistema de enfriamiento del motor ocasionando sobrecalentamiento. Acción correctiva: Cambiar empaques de culata. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 19200 USD/año.	1	8	8	64
15. Volante / Acumular la inercia y regular el movimiento circular del motor.	15.a Vibraciones excesivas en el motor. / 15.a.1 Desbalanceo.	15.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Altas vibraciones, descompensación interna de mecanismos, fractura de Cigüeñal. Acción correctiva: Cambiar volante. FF: 0,1 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 3840 USD/año.	1	8	9	72
16. Reguladores de temperatura / Permitir o no el paso del refrigerante hacia el intercambiador de calor.	16.a Reguladores no conmutan para permitir o no el paso del refrigerante. / 16.a.1 Reguladores de temperatura pegados.	16.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Sobrecalentamiento del motor. Acción correctiva: Cambiar los reguladores de temperatura (Termostatos). FF: 1 fallas/año. TPPR: 3 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2400 USD/año.	2	4	8	64
17. Sensor de velocidad y tiempo / Medir la velocidad y el tiempo en que se encuentra el motor. Tensión de funcionamiento es de 7,5 a 14 VCC. Frecuencia de salida es de 9 Hz a 10 kHz.	17.a No hay señal de voltaje o señal errada. / 17.a.1 Desgaste en la punta del sensor.	17.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar sensor. FF: 1 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	2	4	8	64
	17.a No hay señal de voltaje o señal errada. / 17.a.2 Cable del sensor partido.	17.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Apagado del motor. Acción correctiva: Revisar circuito eléctrico, cambiar sensor. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	1	6	9	54
18. Eje de levas / Regular tanto la carrera de apertura y la carrera de cierre de las válvulas, como también la duración de estas fases, permitiendo la renovación de la carga en las fases de admisión y escape de gases, en los cilindros.	18.a Accionamiento errático de las válvulas. / Eje de levas desgastado.	18.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Apagado del motor. Acción correctiva: Revisar circuito eléctrico, cambiar sensor. FF: 0,143 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 5491 USD/año.	1	8	8	64

19. Engranajes / Transmitir movimiento, fuerza, aumentar/disminuir velocidad/torque y cambio de sentido de giro.	19.a No transmitir movimiento o par. / 19.a.1 Fractura de dientes.	19.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Ruido excesivo, fallas catastrófica. Acción correctiva: Cambiar engranajes, cambiar fluidos. FF: 0,12 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 4608 USD/año.	1	8	7	56
20. Mecanismos de válvulas / Proporcionar la hermeticidad necesaria para comprimir el aire de admisión a la presión especificada para la combustión dentro de la cámara, de la misma manera permitir la entrada de aire fresco y salida de los gases residuales de la combustión. Tolerancias de Válvulas: V. Admisión 0,50mm / 0,020 inch. V. Escape 1,00mm / 0,040 inch.	20.a El aire no alcanza la presión especificada. / 20.a.1 Desgaste en el balancín.	20.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Golpeo en el motor, pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambiar balancines, calibrar válvulas. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 7680 USD/año.	1	8	8	64
	20.a El aire no alcanza la presión especificada. / 20.a.2 Poca apertura de las válvulas.	20.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Golpeo en el motor, pérdida de potencia. Acción correctiva: Calibrar válvulas. FF: 1 fallas/año. TPPR: 16 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 12800 USD/año.	1	7	6	42
21. ECM / Controlar y proteger el motor, proporcionar una sincronización de inyección infinitamente variable según su función manteniendo el máximo rendimiento del motor.	21.a Problemas de encendido y desempeño del motor. / 21.a.1 Incomunicación de parámetros de entrada.	21.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor no arranca, no hay control de desempeño. Acción correctiva: Revisar sistema eléctrico de control, desinstalar e instalar software del ECM. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 14 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2240 USD/año.	1	7	9	63
	21.a Problemas de encendido y desempeño del motor. / 21.a.2 No hay respuestas o señales de salida.	21.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor no arranca, no hay control de desempeño, pérdida de potencia. Acción correctiva: Revisar sistema eléctrico de control, desinstalar e instalar software del ECM, cambiar ECM. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 14 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2800 USD/año.	1	7	9	63
22. Turbocargador / Comprimir el aire que va a los cilindros del motor.	22.a Contaminación con aceite del sistema de admisión y la cámara de combustión. / 22.a.1 Daño en los sellos del turbocargador.	22.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Generación de humo azul, pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambiar turbocargador. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 14 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 3730 USD/año.	1	7	8	56
	22.b Aire deficiente en los cilindros. / 22.b.1 Roce de la rueda compresora o turbina con la carcasa del turbocargador.	22.b.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambiar turbocargador. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 48 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 9600 USD/año.	1	8	7	56

	22.b Aire deficiente en los cilindros. / 22.b.2 Residuos de carbón en el turbocargador .	22.b.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Perdida de potencia. Acción correctiva: Limpiar el turbocargador externa e internamente. FF: 1 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	2	4	7	56
23. Conectores eléctricos / Centralizar puntos de conexión para llevar voltaje, corriente y señales dentro de un sistema eléctrico.	23.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 23.a.1 Conector en mal estado.	23.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Parámetros herrados de operación, perdida de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar conector (es) eléctrico (s). FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 14 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 5600 USD/año.	1	7	8	56
	23.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 23.a.2 Conector (es) suelto (s).	23.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Falla intermitente, apagado del motor. Acción correctiva: Limpiar y asegurar conectores. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2131 USD/año.	1	6	9	54
	23.a Interrupción de las señales eléctricas o señales defectuosas. / 23.a.3 Conector (es) sulfatado (s).	23.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Falla intermitente, perdida de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Limpiar o cambiar según el caso conectores. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	1	6	8	48
24. Contactores / Conmutar circuitos de mando o de potencia.	24.a Incapacidad de conmutar el estado de un circuito. / 24.a.1 Contactor eléctrico defectuoso.	24.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Perdida de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar contactor. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 13 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 3463 USD/año.	1	7	8	56
25. Líneas de combustible / Llevar el combustible a través de todo el sistema de inyección hasta los inyectores, de esta misma manera regresar al tanque el combustible sobrante de cada inyección.	25.a Combustible no llega a los inyectores. / 25.a.1 Fugas de combustible.	25.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Apagado del motor. Acción correctiva: Verificar estado de sellos, limpiar y ajustar líneas de combustible. FF: 1 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	2	4	7	56
26. Bloque de cilindros / Soportar todo el tren alternativo y comunicar internamente los fluidos de los sistemas del motor.	26.a Fugas internas de fluidos. / 26.a.1 Grietas.	26.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Contaminación de fluidos, Bloqueo Hidráulico. Acción correctiva: Cambiar Bloque, reparación general. FF: 0,083 fallas/año. TPPR: 24 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1594 USD/año.	1	7	8	56

27. Líneas de escape / Recoger los gases quemados desde el múltiple de escape y conducirlo hasta la atmosfera.	27.a Fuga de gases de escape. / 27.a.1 Deterioro de elementos y partes.	27.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Ruido y contaminación del cuarto de máquinas. Acción correctiva: Cambiar partes que presentan la fuga. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 12 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1920 USD/año.	1	6	9	54
	27.a Fuga de gases de escape. / 27.a.2 Restricción a la salida de los gases de escape.	27.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Sobrecalentamiento del motor, problemas en el turbocargador. Acción correctiva: Cambiar partes que generan la restricción o rediseño. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 10 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2000 USD/año.	1	6	8	48
28. Sensor de presión de salida del turbocargador / Medir la presión de salida del turbocargador enviar la señal al ECM. Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC.	28.a No hay señal de voltaje. / 28.a.1 Cable del sensor sin continuidad.	28.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Perdida de potencia en el motor. Acción correctiva: Revisar y corregir circuito. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 7 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1400 USD/año.	1	6	9	54
	28.a No hay señal de voltaje. / 28.a.2 Sensor en mal estado.	28.a.2.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Perdida de potencia en el motor. Acción correctiva: Cambiar sensor. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 7 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1120 USD/año.	1	6	9	54
29. Enfriador de aceite / Transferir calor de un fluido a otro.	29.a Sobrecalentamiento. / 29.a.1 Fugas.	29.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Alta temperatura de operación del motor. Acción correctiva: Cambiar enfriador. FF: 0,125 fallas/año. TPPR: 14 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1400 USD/año.	1	7	7	49
	29.a Sobrecalentamiento. / 29.a.2 Obstrucción.	29.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Alta temperatura de operación del motor. Acción correctiva: Cambiar enfriador. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 16 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 3200 USD/año.	1	7	7	49
30. Líneas de agua / Interconectar y conducir el refrigerante a través de todo el sistema de enfriamiento del motor.	30.a Fugas. / 30.a.1 Grietas en tuberías.	30.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Bajo nivel del refrigerante, apagado del motor por bajo nivel. Acción correctiva: Cambiar tuberías. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2131 USD/año.	1	6	8	48

	30.a Fugas. / 30.a.2 Cristalización de man- gueras.	30.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Bajo ni- vel del refrigerante, apagado del motor por bajo nivel. Acción correctiva: Cambiar mangueras. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 3200 USD/año.	1	6	8	48
31. Instrumentos de medi- ción / Medir todas las va- riables de funcionamiento del motor.	31.a Parámetros de trabajo no coinciden con los reales. / 31.a.1 Instrumentos de medi- ción descalibrados.	31.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Toma de decisiones erradas por falsa lectura. Acción correctiva: Cambiar indicadores. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1280 USD/año.	1	6	8	48
32. Bomba de transferen- cia de combustible / Llevar el combustible a través de todo el sistema de inyec- ción del motor.	32.a Baja presión de combustible. / 33.a.1 Válvula reguladora de presión en mal estado.	32.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor no arranca, pérdida de potencia. Acción correc- tiva: Cambiar Válvula reguladora o bomba según el caso. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 2131 USD/año.	1	6	8	48
	32.a Baja presión de combustible. / 33.a.2 Bomba de combustible en mal estado.	32.a.2.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor no arranca, pérdida de potencia. Acción correc- tiva: Cambiar Bomba. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1 600 USD/año.	1	6	8	48
33. Bomba de aceite / Bombear aceite a través de todo el sistema de lu- bricación del motor.	33.a No hay flujo de aceite lubricante en el motor. / 33.a.1 Daño en la bomba de aceite.	33.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): Motor no arranca, o apagado en medio de la opera- ción. Acción correctiva: Cambiar Bomba. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 12 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1920 USD/año.	1	6	8	48
34. Soportes del motor / Mantener la alineación del motor con respecto al res- to de tren de propulsión y ayudar a absorber las vi- braciones.	34.a Desalineación. / 34.a.1 Holgura excesi- va en los soportes.	34.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): Alta vi- bración llegando a romper el tren propulsor. Acción correctiva: Cambiar soportes, verificar alineación. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 50 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 8000 USD/año.	1	9	5	45
35. Monitor / Visualizar los parámetros de operación del motor.	35.a No muestra los parámetros de opera- ción del motor. / 35.a.1 Daño en la pan- talla del monitor.	35.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): No se visualiza por el operador los parámetros de tra- bajo del motor. Acción correctiva: Cambiar mo- nitor. FF: 0,166 fallas/año. TPPR: 5 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 664 USD/año.	1	5	9	45

36. Carcasa frontal / Soportar y proteger el tren de engranajes de distribución mecánica.	36.a Desalineación de engranajes. / 36.a.1 Desgaste.	36.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Ruido excesivo. Acción correctiva: Reparación del motor, cambiar carcasa frontal. FF: 0,125 fallas/año. TPPR: 12 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1200 USD/año.	1	6	7	42
37. Carcasa del volante / Mantener estanqueidad en el motor y proteger el volante del motor.	37.a Fugas externas. / 37.a.1 Grietas.	37.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Bajo nivel de fluidos, contaminación de fluidos. Acción correctiva: Reparación del motor, cambiar carcasa trasera. FF: 0,1 fallas/año. TPPR: 12 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 960 USD/año.	1	6	7	42
38. Sellos. / Lograr la mayor hermeticidad posible en un sistema bajo la presencia de fluidos.	38.a Fugas. / 38.a.1 Desgaste en la superficie de sellado.	38.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Bajo nivel de fluidos, contaminación de fluidos. Acción correctiva: Reacondicionar área de sellado afectada. FF: 0,166 fallas/año. TPPR: 12 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1593 USD/año.	1	6	7	42
	38.a Fugas. / 38.a.2 Falla del sello.	38.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Bajo nivel de fluidos, contaminación de fluidos. Acción correctiva: Cambiar sello. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 3,5 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1200 USD/año.	1	5	8	40
39. Posenfriador / Enfriar el aire a temperatura ideal de trabajo (50°F y 122°F (10 - 50 °C)).	39.a El aire ingresa a los cilindros fuera del rango ideal de trabajo. / 39.a.1 Fugas internas.	39.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambiar posenfriador. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 6 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 960 USD/año.	1	5	8	40
40. Depósito de aceite / Contener el aceite lubricante del motor.	40.a Fuga de aceite / 40.a.1 Fractura.	40.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de nivel del lubricante, apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar depósito de aceite (cárter). FF: 0,083 fallas/año. TPPR: 6 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 398,4 USD/año.	1	5	8	40
41. Sensor de temperatura del refrigerante. / Medir la temperatura del refrigerante enviar la señal al ECM. Temperatura de funcionamiento. -40 A 120 ° C (-40 a 248 ° F). Tensión de servicio. 4,75 a 8,50 V CC.	41.a No hay señal de voltaje. / 41.a.1 Cable del sensor sin continuidad.	41.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Circuito abierto, no se entrega lectura al ECM, pérdida de rendimiento. Acción correctiva: Revisar y reparar circuito eléctrico. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 400 USD/año.	1	4	9	36

	41.a No hay señal de voltaje. / 41.a.2 Sensor en mal estado.	41.a.2.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de rendimiento del motor por pérdida de potencia. Acción correctiva: Cambiar sensor. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 320 USD/año.	1	4	9	36
42. Sensor de temperatura del posenfriador / Medir temperatura del posenfriador enviar la señal al ECM. Temperatura de funcionamiento. -40 A 120 ° C (-40 a 248 ° F). Tensión de servicio. 4,75 a 8,50 V CC.	42.a No hay señal de voltaje. / 42.a.1 Cable del sensor sin continuidad.	42.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de rendimiento del motor por pérdida de potencia. Acción correctiva: Revisar y reparar circuito eléctrico. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 400 USD/año.	1	4	9	36
	42.a No hay señal de voltaje. / 42.a.2 Sensor en mal estado.	42.a.2.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de rendimiento del motor por pérdida de potencia. Acción correctiva: Revisar y reparar circuito eléctrico. FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 320 USD/año.	1	4	9	36
43. Antivibrador / Absorber la vibración producida por las detonaciones del motor.	43.a Vibración excesiva. / 43.a.1 Antivibrador descompensado.	43.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Alta vibración, ruido. Acción correctiva: Cambiar antivibrador (Dámper). FF: 0,2 fallas/año. TPPR: 8 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1280 USD/año.	1	6	6	36
44. Bujes / Permitir el giro libre de los ejes de levas y mantener su alineación.	44.a Desalineación del eje de levas. / 44.a.1 Desgaste.	44.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Accionamiento erróneo de válvulas, alta vibración, golpeteo. Acción correctiva: Reparar motor, cambiar bujes, evaluar eje de levas. FF: 0,1 fallas/año. TPPR: 12 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 960 USD/año.	1	6	5	30
45. Filtro de combustible / Remover las impurezas del combustible antes de que este ingrese al motor.	45.a Caída e presión en el sistema de inyección. / 45.a.1 Filtro de combustible obstruido.	45.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Pérdida de potencia, apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar filtros. FF: 2 fallas/año. TPPR: 1 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1600 USD/año.	3	3	3	27
46. Bomba de prelubricación / Llevar aceite lubricante a las partes más altas del motor antes que se dé el arranque.	46.a No hay flujo de aceite lubricante antes del arranque del motor. / 46.a.1 Daño en la bomba de prelubricación.	46.a.1.a. Evidente / No evidente: No. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Motor no arranca. Acción correctiva: Cambiar bomba. FF: 0,25 fallas/año. TPPR: 4 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 800 USD/año.	1	5	5	25

47. Tanque de expansión / Proporcionar refrigerante al sistema enfriamiento para compensar las pérdidas.	47.a. Tanque no compensa las pérdidas de refrigerante. / 47.a.1 Obstrucción en la línea de suministro.	47.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Alta temperatura, apagado del motor por bajo nivel. Acción correctiva: Cambiar línea de suministro. FF: 0,333 fallas/año. TPPR: 3 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 800 USD/año.	1	4	6	24
48. Filtro de aceite / Retener las partículas contaminantes contenidas en el aceite.	48.a Baja presión de aceite. / 48.a.1 Filtro de aceite obstruido.	48.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Apagado del motor. Acción correctiva: Cambiar filtro. FF: 3 fallas/año. TPPR: 0,5 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 1200 USD/año.	4	3	2	24
49. Bomba de cebado / Bombear combustible manualmente para purgar el sistema.	49.a No bombear combustible. / 49.a.1 Desgaste interno.	49.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Importante para arrancar el motor después de un mantenimiento en el sistema de inyección. Acción correctiva: Cambiar bomba. FF: 0,142 fallas/año. TPPR: 1 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 114 USD/año.	1	3	7	21
50. Líneas de aire / Conducir el aire de la atmosfera al interior de los cilindros.	50.a El aire no llega eficientemente a los cilindros del motor. / 50.a.1 Fugas de aire.	50.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Perdida de potencia. Acción correctiva: Eliminar fugas. FF: 0,5 fallas/año. TPPR: 2 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 800 USD/año.	1	4	4	16
51. Filtro de aire / Limpiar el aire antes de entrar al motor.	51.a El aire no llega a los cilindros del motor. / 51.a.1 Filtro de aire obstruido por suciedad.	51.a.1.a. Evidente / No evidente: Si. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Perdida de potencia en el motor. Acción correctiva: Cambiar filtros. FF: 1 fallas/año. TPPR: 0,5 horas/falla. IP: 800 USD/hora Riesgo: 400 USD/año.	2	3	2	12

Tabla 1. FMECA/RPN Motor Propulsor Caterpillar 3512

5. ACCIONES PROACTIVAS Y REACTIVAS. PLAN DE MANTENIMIENTO. A PARTIR DEL ANÁLISIS DE LOS MODOS DE FALLA, EFECTOS Y CRITICIDAD (AMFEC O FMECA)

Componente / Función / Modos de Falla	Acciones de Mantenimiento Definidas 001=INSPECCIÓN, 002=SUSTITUCION, 003=LUBRICACIÓN, 004=LIMPIEZA, 005=PREDICTIVO, 006=EJECUCION, PM01=CORRECTIVO	Frecuencia	N° de Personas	H-H	Especialidad
1. Inyector. Producir la inyección de combustible líquido finamente pulverizado en el momento indicado y en la cantidad justa de acuerdo al régimen de funcionamiento del motor. 1.a.1 Inyector en mal estado.	1 Verificar la restricción en los filtros, que esta no supere 103 KPa (15 PSI). (001). 2 Realizar análisis de gases de escape del motor. (005).	Diario 2000 Horas	1 1	0,5 2	OPERADOR CONFIABILIDAD
2. Bomba de agua. Proporcionar la circulación del líquido refrigerante por el sistema de enfriamiento, transportando el calor sobrante hacia el exterior. 2.a.1 Bomba de agua defectuosa.	1 Verificar la presión diferencial en la que se encuentra operando la bomba de agua, esta no debe superar 103 kPa (15 psi). (001).	2000 Horas	1	0,5	CONFIABILIDAD
3. Módulo de alarmas y protecciones. Anunciar por medio sonoro, visual y proteger el equipo cuando está ocurriendo un evento que se sale de los parámetros establecidos por el fabricante. 3.a.1 Pérdida de calibración de alarmas y protecciones. 3.a.2 Falso contacto.	1 Comprobar el funcionamiento del sistema de alarmas y protecciones. (006). 1 Ídem anterior. (006).	2000 Horas 2000 Horas	1 1	2 2	ELÉCTRICO ELÉCTRICO

<p>4. Línea de Potencia. Comprimir el aire de admisión a la presión especificada para generar la combustión dentro de la cámara y transmitir esta energía al cigüeñal.</p> <p>4.a.1 Grietas en los pistones.</p> <p>4.a.2 Desgaste anormal de anillos.</p> <p>4.a.3 Desgaste anormal de la camisa.</p>	<p>1 Medir la compresión en el cárter. (005).</p> <p>1 Realizar análisis de aceite. (005).</p> <p>1 Ídem anterior.</p>	<p>6000 Horas</p> <p>250 Horas</p> <p>250 Horas</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>	<p>2</p> <p>0,5</p> <p>0,5</p>	<p>CONFIABILIDAD</p> <p>CONFIABILIDAD</p> <p>CONFIABILIDAD</p>
<p>5. Cigüeñal. Convertir el movimiento reciprocante de los pistones en movimiento circular.</p> <p>5.a.1 Fractura.</p>	<p>1 Medir la deflexión del cigüeñal. (006).</p>	<p>6000 Horas</p>	<p>1</p>	<p>8</p>	<p>MECÁNICO</p>
<p>6. Sensor de posición del acelerador. Detectar el movimiento del dispositivo de aceleración y traducirlo en valores de voltaje.</p> <p>6.a.1 Sensor en mal estado.</p> <p>6.a.2 Señal anormal de la posición del acelerador.</p>	<p>1 Realizar limpieza del sensor y su conector con limpiador de contactos.(004).</p> <p>2 Monitorear el funcionamiento del sensor con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).</p> <p>1 Ídem anterior.</p> <p>2 Ídem anterior.</p>	<p>2000 Horas</p> <p>2000 horas</p> <p>2000 Horas</p> <p>2000 Horas</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>	<p>0,5</p> <p>1</p> <p>0,5</p> <p>1</p>	<p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p>
<p>7. Sensor de presión de aceite. Medir la presión bajo la cual se encuentra el aceite lubricante, Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC.</p> <p>7.a.1 Sensor de presión de aceite abierto o con corto a batería.</p> <p>7.a.2 Sensor defectuoso.</p>	<p>1 Realizar limpieza del sensor y su conector con limpiador de contactos.(004).</p> <p>2 Monitorear el funcionamiento del sensor con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).</p> <p>1 Ídem anterior.</p> <p>2 Ídem anterior.</p>	<p>2000 Horas</p> <p>2000 horas</p> <p>2000 Horas</p> <p>2000 Horas</p>	<p>1</p> <p>1</p> <p>1</p> <p>1</p>	<p>0,5</p> <p>1</p> <p>0,5</p> <p>1</p>	<p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p>
<p>8. Cableado. Llevar voltaje, corriente y señales dentro de un sistema eléctrico.</p> <p>8.a.1 Cable sin continuidad.</p> <p>8.a.2 Alta resistencia.</p> <p>8.a.3 Cortocircuito a tierra.</p>	<p>1 Mantenimiento correctivo. (PM01).</p> <p>1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).</p> <p>1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).</p>	<p>2000 Horas</p> <p>2000 Horas</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p>
<p>9. Sensor de presión al cárter. Medir la presión que ejercen los gases en la parte baja del motor. Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC.</p> <p>9.a.1 Sensor en mal estado.</p> <p>9.a.2 Sensor con cortocircuito a tierra.</p>	<p>1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).</p> <p>1 Ídem anterior.</p>	<p>2000 Horas</p> <p>2000 Horas</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p>
<p>10. Motor de arranque. Dar arranque al motor Diésel. Consumo de corriente a 20V y 25 °C (77 °F): 1. Para accionar es de 57 amperios.</p> <p>2. Para sostenerse es de 16 Amp. Max.</p> <p>10.a.1 Bajo Voltaje o no hay voltaje.</p> <p>10.a.2 Falla en el solenoide del motor de arranque.</p> <p>10.a.3 Motor de arranque en mal estado.</p>	<p>1 Evento externo al límite de batería.</p> <p>1 Probar el solenoide energizando enganche automático. Verificar salida libre del bendix. (001).</p> <p>1 Verificar temperatura después de varios intentos de arranque cerrando el paso de combustible al motor Diésel. (Consumo alto de amperaje, ruidos extraños). (001).</p>	<p>2000 Horas</p> <p>2000 Horas</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>1</p> <p>2</p>	<p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p>
<p>11. Sensor de presión atmosférica. Medir la presión atmosférica para servir de referencia a los demás sensores del motor lo cual ayuda a la regulación de la inyección de combustible con base a la altura en que se encuentra el motor. Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC.</p> <p>11.a.1 Cortocircuito a tierra.</p> <p>11.a.2 Sensor defectuoso.</p>	<p>1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).</p> <p>1 Mantenimiento correctivo. (PM01).</p>	<p>2000 Horas</p>	<p>1</p>	<p>1</p>	<p>ELÉCTRICO</p>
<p>12. Interruptor de nivel. Enviar señal eléctrica de la presencia o nivel de un líquido. Rango de temperatura -53 Hasta 107 °C (-63 a 225 ° F) Posición de contacto normalmente cerrado.</p> <p>12.a.1 Cable sin continuidad.</p> <p>12.a.2 Daño en el interruptor.</p>	<p>1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).</p> <p>1 Ídem anterior.</p>	<p>2000 Horas</p> <p>2000 Horas</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>ELÉCTRICO</p> <p>ELÉCTRICO</p>
<p>13. Líneas de aceite. Interconectar y conducir el aceite lubricante a través de todo el sistema de lubricación del motor.</p> <p>13.a.1 Fugas en tuberías y/o mangueras.</p> <p>13.a.2 Obstrucción de galerías o tuberías.</p>	<p>1 Rutina pre-operacional inspeccionar visualmente el estado de las líneas y verificar que no hallan fugas de fluidos. (001).</p> <p>1 Ídem anterior.</p>	<p>Diario</p> <p>Diario</p>	<p>1</p> <p>1</p>	<p>0,5</p> <p>0,5</p>	<p>OPERADOR</p> <p>OPERADOR</p>

14. Culatas. Cerrar herméticamente la cámara de combustión, controlar el reciclaje de los gases y disipar el calor. 14.a.1 Fractura de tornillo (s) de culata. 14.a.2 Fractura del resorte de válvula. 14.a.3 Rotura del empaque de culata.	1 Verificar torque de los tornillos de culatas. (006). 1 Calibrar válvulas de admisión y escape. (006). 1 Cambiar empaques de Culata. (006).	6000 Horas 2000 Horas 12000 Hrs	1 1 3	2 8 32	MECÁNICO MECÁNICO MECÁNICO
15. Volante. Acumular la inercia y regular el movimiento circular del motor. 15.a.1 Desbalanceo.	1 Realizar análisis de vibraciones. (006).	6000 Horas	1	1	CONFIABILIDAD
16. Reguladores de temperatura. Permitir o no el paso del refrigerante hacia el intercambiador de calor. 16.a.1 Reguladores de temperatura pegados.	1 Cambiar reguladores de temperatura. (006).	6000 Horas	1	2	MECÁNICO
17. Sensor de velocidad y tiempo / Medir la velocidad y el tiempo en que se encuentra el motor. Tensión de funcionamiento es de 7,5 a 14 VCC. Frecuencia de salida es de 9 Hz a 10 kHz. 17.a.1 Desgaste en la punta del sensor. 17.a.2 Cable del sensor partido.	1 Limpieza del sensor. (004). 1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001).	2000 Horas 2000 Horas	1 1	0,5 1	ELÉCTRICO ELÉCTRICO
18. Eje de levas. Regular tanto la carrera de apertura y la carrera de cierre de las válvulas, como también la duración de estas fases, permitiendo la renovación de la carga en las fases de admisión y escape de gases, en los cilindros. 18.a.1 Eje de levas desgastado.	1 Realizar análisis de aceite. (005).	250 Horas	1	0,5	CONFIABILIDAD
19. Engranajes. Transmitir movimiento, fuerza, aumentar, disminuir velocidad, torque y cambio de sentido de giro. 19.a.1 Fractura de dientes	1 Realizar análisis de aceite. (005).	250 Horas	1	0,5	CONFIABILIDAD
20. Mecanismos de válvulas. Proporcionar la hermeticidad necesaria para comprimir el aire de admisión a la presión especificada para la combustión dentro de la cámara, de la misma manera permitir la entrada de aire fresco y salida de los gases residuales de la combustión. Tolerancias de Válvulas: V. Admisión 0,50mm / 0,020 inch. V. Escape 1,00mm / 0,040 inch. 20.a.1 Desgaste en el balancín. 20.a.2 Poca apertura de las válvulas.	1 Realizar análisis de aceite. (005). 1 Calibrar válvulas de admisión y escape. (006).	250 Horas 2000 Horas	1 1	0,5 8	CONFIABILIDAD MECÁNICO
21. ECM. Controlar y proteger el motor, proporcionar una sincronización de inyección infinitamente variable según su función manteniendo el máximo rendimiento del motor. 21.a.1 Incomunicación de parámetros de entrada. 21.a.2 No hay respuestas o señales de salida.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01). 1 Ídem anterior.				
22. Turbocargador. Comprimir el aire que va a los cilindros del motor. 22.a.1 Daño en los sellos del turbocargador. 22.b.1 Roce de la rueda compresora o turbina con la carcasa del turbocargador. 22.b.2 Residuos de carbón en el turbocargador .	1 Inspección de ductos de admisión y escape. (001). 1 Medir juego radiales y axial del turbocargador. (006). 1 Lavado interno y externo de turbocargador. (004).	2000 Horas 2000 Horas 2000 Horas	1 1 1	1 1 1	MECÁNICO MECÁNICO MECÁNICO
23. Conectores eléctricos. Centralizar puntos de conexión para llevar voltaje, corriente y señales dentro de un sistema eléctrico. 23.a.1 Conector en mal estado. 23.a.2 Conector (es) suelto (s). 23.a.3 Conector (es) sulfatado (s).	1 Realizar limpieza de conectores con limpiador de contactos. (004). 1 Ídem anterior. 1 Ídem anterior.	2000 Horas 2000 Horas 2000 Horas	1 1 1	1 1 1	ELÉCTRICO ELÉCTRICO ELÉCTRICO
24. Contactores. Conmutar circuitos de mando o de potencia. 24.a.1 Contactor eléctrico defectuoso.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				

25. Líneas de combustible. Llevar el combustible a través de todo el sistema de inyección hasta los inyectores, de esta misma manera regresar al tanque el combustible sobrante de cada inyección. 25.a.1 Fugas de combustible.	1 Rutina pre-operacional inspeccionar visualmente el estado de las líneas y verificar que no hallan fugas de fluidos. (001).	Diario	1	0,5	OPERADOR
26. Bloque de cilindros / Soportar todo el tren alternativo y comunicar internamente los fluidos de los sistemas del motor. 26.a.1 Grietas.	1 Rutina pre-operacional inspeccionar visualmente fugas externas y niveles de fluidos. (001).	Diario	1	0,5	OPERADOR
27. Líneas de escape. Recoger los gases quemados desde el múltiple de escape y conducirlo hasta la atmosfera. 27.a.1 Deterioro de elementos y partes. 27.a.2 Restricción a la salida de los gases de escape.	1 Rutina pre-operacional inspeccionar visualmente fugas externas de gases. (001). 1 Monitorear temperatura de gases de escape. (005).	Diario En línea	1	0,5	OPERADOR
28. Sensor de presión de salida del turbocargador. Medir la presión de salida del turbocargador enviar la señal al ECM. Tensión de servicio es de 5,00 ± 0,25 VDC. 28.a.1 Cable del sensor sin continuidad. 28.a.2 Sensor en mal estado.	1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001). 1 Mantenimiento correctivo. (PM01).	2000 Horas	1	1	ELÉCTRICO
29. Enfriador de aceite. Transferir calor de un fluido a otro. 29.a.1 Fugas. 29.a.2 Obstrucción.	1 Rutina pre-operacional inspeccionar visualmente fugas externas y niveles de fluidos. (001). 1 Monitorear temperatura de aceite. (005).	Diario En línea	1	0,5	OPERADOR
30. Líneas de agua. Interconectar y conducir el refrigerante a través de todo el sistema de enfriamiento del motor. 30.a.1 Grietas en tuberías. 31.a.2 Cristalización de mangueras.	1 Rutina pre-operacional inspeccionar visualmente el estado de las líneas y verificar que no hallan fugas de fluidos. (001). 1 Ídem anterior.	Diario	1	0,5	OPERADOR
31. Instrumentos de medición. Medir todas las variables de funcionamiento del motor. 31.a.1 Instrumentos de medición descalibrados.	1. Revisión y calibración de instrumentación. (005).	2000 Horas	1	2	ELÉCTRICO
32. Bomba de transferencia de combustible. Llevar el combustible a través de todo el sistema de inyección del motor. 32.a.1 Válvula reguladora de presión en mal estado. 32.a.2 Bomba de combustible en mal estado.	1 Cambiar bomba de transferencia de combustible. (006). 1 Ídem anterior.	12000 Hrs 12000 Hrs	1 1	1 1	MECÁNICO MECÁNICO
33. Bomba de aceite. Bombear aceite a través de todo el sistema de lubricación del motor. 33.a.1 Daño en la bomba de aceite.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
34. Soportes del motor. Mantener la alineación del motor con respecto al resto de tren de propulsión y ayudar a absorber las vibraciones. 34.a.1 Holgura excesiva en los soportes.	1 Inspeccionar soportes. (001).	2000 Horas	1	0,5	OPERADOR
35. Monitor. Visualizar los parámetros de operación del motor. 35.a.1 Daño en la pantalla del monitor.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
36. Carcasa frontal. Soportar y proteger el tren de engranajes de distribución mecánica. 36.a.1 Desgaste.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
37. Carcasa del volante. Mantener estanqueidad en el motor y proteger el volante del motor. 37.a.1 Grietas.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
38. Sellos. Lograr la mayor hermeticidad posible en un sistema bajo la presencia de fluidos. 38.a.1 Desgaste en la superficie de sellado. 38.a.2 Falla del sello.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
39. Posenfriador. Enfriar el aire a temperatura ideal de trabajo (50°F y 122°F (10 - 50 °C)). 39.a.1 Fugas internas.	1 Revisar y lavar el posenfriador. (006).	6000 Horas	1	6	MECÁNICO

40. Depósito de aceite. Contener el aceite lubricante del motor. 41.a.1 Fractura.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
41. Sensor de temperatura del refrigerante. Medir la temperatura del refrigerante enviar la señal al ECM. Temperatura de funcionamiento. -40 A 120 ° C (-40 a 248 ° F). Tensión de servicio. 4,75 a 8,50 V CC. 41.a.1 Cable del sensor sin continuidad. 41.a.2 Sensor en mal estado.	1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001). 1 Mantenimiento correctivo. (PM01).	2000 Horas	1	1	ELÉCTRICO
42. Sensor de temperatura del posenfriador. Medir temperatura del posenfriador enviar la señal al ECM. Temperatura de funcionamiento. -40 A 120 ° C (-40 a 248 ° F). Tensión de servicio. 4,75 a 8,50 V CC. 42.a.1 Cable del sensor sin continuidad. 42.a.2 Sensor en mal estado.	1 Monitorear el funcionamiento de circuito con la ayuda de la herramienta electrónica de Caterpillar (E.T). (001). 1 Mantenimiento correctivo. (PM01).	2000 Horas	1	1	ELÉCTRICO
43. Antivibrador. Absorber la vibración producida por las detonaciones del motor. 43.a.1 Antivibrador descompensado.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
44. Bujes. Permitir el giro libre de los ejes de levas y mantener su alineación. 44.a.1 Desgaste.	1 Realizar análisis de aceite. (005).	250 Horas	1	0,5	CONFIABILIDAD
45. Filtro de combustible. Remover las impurezas del combustible antes de que este ingrese al motor. 45.a.1 Filtro de combustible obstruido.	1 Verificar la restricción en los filtros, que esta no supere 103 KPa (15 PSI). (001).	Diario	1	0,5	OPERADOR
46. Bomba de prelubricación. Llevar aceite lubricante a las partes más altas del motor antes que se dé el arranque. 46.a.1 Daño en la bomba de prelubricación.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
47. Tanque de expansión. Proporcionar refrigerante al sistema de enfriamiento para compensar las pérdidas. 47.a.1 Obstrucción en la línea de suministro.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
48. Filtro de aceite. Retener las partículas contaminantes contenidas en el aceite. 48.a.1 Filtro de aceite obstruido.	1 Verificar la restricción en los filtros, que esta no supere 103 KPa (15 PSI). (001).	Diario	1	0,5	OPERADOR
49. Bomba de cebado. Bombear combustible manualmente para purgar el sistema. 50.a.1 Desgaste interno.	1 Mantenimiento correctivo. (PM01).				
50. Líneas de aire. Conducir el aire de la atmósfera al interior de los cilindros. 50.a.1 Fugas de aire.	1 Rutina pre-operacional inspeccionar visualmente el estado de las líneas y verificar que no hallan fugas de aire. (001).	Diario	1	0,5	OPERADOR
51. Filtro de aire. Limpiar el aire antes de entrar al motor. 51.a.1 Filtro de aire obstruido por suciedad.	1 Verificar la restricción en los filtros, que esta no supere 6 kPa (0,9 psi). (001).	Diario	1	0,5	OPERADOR

Tabla 2. Plan de Mantenimiento a partir del FMECA Motor Propulsor Caterpillar 3512

6. ANALISIS DE RESULTADOS CON BASE A LOS RIESGOS ASOCIADOS POR MODO DE FALLA Y LA GENERACIÓN DEL PLAN DE MTTT PROPUESTO VS EL ACTUAL PLAN DE MTTT.

Componente	Modos de Falla	Riesgo Asociado USD / Año
1. Inyector.	1.a.1 Inyector en mal estado.	\$ 38.400,00
2. Bomba de agua.	2.a.1 Bomba de agua defectuosa.	\$ 20.800,00
3. Módulo de alarmas y protecciones.	3.a.1 Pérdida de calibración de alarmas y protecciones.	\$ 9.600,00
	3.a.2 Falso contacto.	\$ 4.800,00

4. Línea de Potencia.	4.a.1 Grietas en los pistones.	\$	9.600,00
	4.a.2 Desgaste anormal de anillos.	\$	7.680,00
	4.a.3 Desgaste anormal de la camisa.	\$	6.413,00
5. Cigüeñal.	5.a.1 Fractura.	\$	48.000,00
6. Sensor de posición del acelerador.	6.a.1 Sensor en mal estado.	\$	1.600,00
	6.a.2 Señal anormal de la posición del acelerador.	\$	2.240,00
7. Sensor de presión de aceite.	7.a.1 Sensor de presión de aceite abierto o con corto a batería.	\$	8.320,00
	7.a.2 Sensor defectuoso.	\$	10.000,00
8. Cableado.	8.a.1 Cable sin continuidad.	\$	10.400,00
	8.a.2 Alta resistencia.	\$	6.660,00
	8.a.3 Cortocircuito a tierra.	\$	2.240,00
9. Sensor de presión al cárter.	9.a.1 Sensor en mal estado.	\$	5.200,00
	9.a.2 Sensor con cortocircuito a tierra.	\$	4.263,00
10. Motor de arranque.	10.a.1 Bajo Voltaje o no hay voltaje.	\$	12.000,00
	10.a.2 Falla en el solenoide del motor de arranque.	\$	5.600,00
	10.a.3 Motor de arranque en mal estado.	\$	4.800,00
11. Sensor de presión atmosférica.	11.a.1 Sensor de presión atmosférica con cortocircuito a tierra.	\$	5.200,00
	11.a.2 Sensor defectuoso.	\$	4.160,00
12. Interruptor de nivel.	12.a.1 Cable sin continuidad.	\$	6.926,00
	12.a.2 Daño en el interruptor.	\$	2.800,00
13. Líneas de aceite.	13.a.1 Fugas en tuberías y/o mangueras.	\$	1.600,00
	13.a.2 Obstrucción de galerías o tuberías.	\$	5.000,00
14. Culatas.	14.a.1 Fractura de tornillo (s) de culata.	\$	7.680,00
	14.a.2 Fractura del resorte de válvula.	\$	6.374,00
	14.a.3 Rotura de empaque de culata.	\$	19.200,00
15. Volante.	15.a.1 Desbalanceo.	\$	3.840,00
16. Reguladores de temperatura.	16.a.1 Reguladores de temperatura pegados.	\$	2.400,00
17. Sensor de velocidad y tiempo.	17.a.1 Desgaste en la punta del sensor.	\$	1.600,00
	17.a.2 Cable del sensor partido.	\$	1.600,00
18. Eje de levas.	Eje de levas desgastado.	\$	5.491,00
19. Engranajes.	19.a.1 Fractura de dientes.	\$	4.608,00
20. Mecanismos de válvulas.	20.a.1 Desgaste en el balancín.	\$	7.680,00
	20.a.2 Poca apertura de las válvulas.	\$	12.800,00
21. ECM.	21.a.1 Incomunicación de parámetros de entrada.	\$	2.240,00

	21.a.2 No hay respuestas o señales de salida.	\$	2.800,00
22. Turbocargador.	22.a.1 Daño en los sellos del turbocargador.	\$	3.730,00
	22.b.1 Roce de la rueda compresora o turbina con la carcasa del turbocargador.	\$	9.600,00
	22.b.2 Residuos de carbón en el turbocargador .	\$	1.600,00
23. Conectores eléctricos.	23.a.1 Conector en mal estado.	\$	5.600,00
	23.a.2 Conector (es) suelto (s).	\$	2.131,00
	23.a.3 Conector (es) sulfatado (s).	\$	1.600,00
24. Contactores.	24.a.1 Contactador eléctrico defectuoso.	\$	3.463,00
25. Líneas de combustible.	25.a.1 Fugas de combustible.	\$	1.600,00
26. Bloque de cilindros.	26.a.1 Grietas.	\$	1.594,00
27. Líneas de escape.	27.a.1 Deterioro de elementos y partes.	\$	1.920,00
	27.a.2 Restricción a la salida de los gases de escape.	\$	2.000,00
28. Sensor de presión de salida del turbocargador.	28.a.1 Cable del sensor sin continuidad.	\$	1.400,00
	28.a.2 Sensor en mal estado.	\$	1.120,00
29. Enfriador de aceite.	29.a.1 Fugas.	\$	1.400,00
	29.a.2 Obstrucción.	\$	3.200,00
30. Líneas de agua.	30.a.1 Grietas en tuberías.	\$	2.131,00
	30.a.2 Cristalización de mangueras.	\$	3.200,00
31. Instrumentos de medición.	31.a.1 Instrumentos de medición descalibrados.	\$	1.280,00
32. Bomba de transferencia de combustible.	33.a.1 Válvula reguladora de presión en mal estado.	\$	2.131,00
	33.a.2 Bomba de combustible en mal estado.	\$	1.600,00
33. Bomba de aceite.	33.a.1 Daño en la bomba de aceite.	\$	1.920,00
34. Soportes del motor.	34.a.1 Holgura excesiva en los soportes.	\$	8.000,00
35. Monitor.	35.a.1 Daño en la pantalla del monitor.	\$	664,00
36. Carcasa frontal.	36.a.1 Desgaste.	\$	1.200,00
37. Carcasa del volante.	37.a.1 Grietas.	\$	960,00
38. Sellos.	38.a.1 Desgaste en la superficie de sellado.	\$	1.593,00
	38.a.2 Falla del sello.	\$	1.200,00
39. Posenfriador.	39.a.1 Fugas internas.	\$	960,00
40. Depósito de aceite.	40.a.1 Fractura.	\$	398,40
41. Sensor de temperatura del refrigerante.	41.a.1 Cable del sensor sin continuidad.	\$	400,00
	41.a.2 Sensor en mal estado.	\$	320,00
42. Sensor de temperatura del posenfriador.	42.a.1 Cable del sensor sin continuidad.	\$	400,00
	42.a.2 Sensor en mal estado.	\$	320,00
43. Antivibrador.	43.a.1 Antivibrador descompensado.	\$	1.280,00

44. Bujes.	44.a.1 Desgaste.	\$	960,00
45. Filtro de combustible.	45.a.1 Filtro de combustible obstruido.	\$	1.600,00
46. Bomba de prelubricación.	46.a.1 Daño en la bomba de prelubricación.	\$	800,00
47. Tanque de expansión.	47.a.1 Obstrucción en la línea de suministro.	\$	800,00
48. Filtro de aceite.	48.a.1 Filtro de aceite obstruido.	\$	1.200,00
49. Bomba de cebado.	49.a.1 Desgaste interno.	\$	114,00
50. Líneas de aire.	50.a.1 Fugas de aire.	\$	800,00
51. Filtro de aire.	51.a.1 Filtro de aire obstruido por suciedad.	\$	400,00
Riesgo Total Asociado a los Modos de Falla		\$	401.204,40

Tabla 3. Componentes, modos de falla y valor del riesgo asociado USD

Riesgo Total Asociado a los Modos de Falla	401204,4 USD/ AÑO
---	--------------------------

COSTOS DEL ACTUAL PLAN DE MANTENIMIENTO

TO 5100 HORAS/AÑO	
Costo Total mantenimiento de 1000 horas	\$ 4.555,00
Costo Total mantenimiento de 2000 horas	\$ 6.500,00
Costo Total mantenimiento de 6000 horas	\$ 10.000,00
Costo Total mantenimiento de 12000 horas	\$ 75.000,00
Costo Total mantenimiento de 24000 horas	\$ 145.000,00

Tabla 4. Costos de cada rutina del plan de mantenimiento actual

COSTOS DEL ACTUAL PLAN DE MANTENIMIENTO ANUAL

Rutina de Mttos Hrs	Hrs Trabajo Año	N° Mttos Año	Costo Anual
1000	5100	5,1	\$ 23.230,50
2000	5100	2,55	\$ 16.575,00
6000	5100	0,85	\$ 8.500,00
12000	5100	0,425	\$ 31.875,00
24000	5100	0,2125	\$ 30.812,50
Costo del Actual Plan de Mtto Anual			\$ 110.993,00

Tabla 5. Costo anual del plan de mantenimiento actual

COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

TO 5100 HORAS/AÑO		
Frecuencia	Actividad	Costo USD
DIARIO	Verificar Restricciones de filtros	N/A *
DIARIO	Revisar que no existan fugas de fluidos o gases	N/A *
250 Horas	Realizar análisis de aceite	N/A **
2000 Horas	Realizar análisis de gases de escape	\$ 450,00
2000 Horas	Verificar la presión diferencial bomba de agua	\$ 1.750,00
2000 Horas	Comprobar alarmas y protecciones	
2000 Horas	Limpieza de sensores y conectores en general	
2000 Horas	Monitorear funcionamiento del motor con escáner	
2000 Horas	Revisión y pruebas al motor de arranque	
2000 Horas	Calibrar válvulas	
2000 Horas	Inspección de ductos de admisión y escape	
2000 Horas	Lavado interno y externo de turbocargador	
2000 Horas	Medir juego radiales y axial del turbocargador	
2000 Horas	Revisión y calibración de la instrumentación	
2000 Horas	Inspeccionar soportes	
2000 Horas	Cambio de aceite y filtros	\$ 4.555,00
Costo Total mantenimiento de 2000 horas		\$ 6.755,00
6000 Horas	Realizar análisis de vibraciones.	\$ 500,00
6000 Horas	Medir la compresión en el cárter	\$ 2.500,00
6000 Horas	Medir la deflexión del cigüeñal.	
6000 Horas	Verificar torque de los tornillos de culatas	
6000 Horas	Revisar y lavar el posenfriador	\$ 1.320,00
6000 Horas	Cambiar reguladores de temperatura	\$ 315,00
Costo Total mantenimiento de 6000 horas		\$ 4.635,00
12000 Ho- ras	Cambiar empaques de Culata.	\$ 8.000,00
12000 Ho- ras	Cambio de refrigerante	\$ 2.400,00
12000 Ho- ras	Cambiar bomba de transferencia de combustible.	\$ 1.000,00
Costo Total mantenimiento de 12000 horas		\$ 11.400,00
Costo Total mantenimiento de 24000 horas		\$ 145.000,00

*La verificación de restricciones y fugas de fluidos y gases está dentro de las rutinas de la tripulación

**El costo asociado al análisis de aceite está incluido como servicio posventa del proveedor de lubricantes

Tabla 6. Costos de cada rutina del plan de mantenimiento Propuesto

COSTOS DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO ANUAL

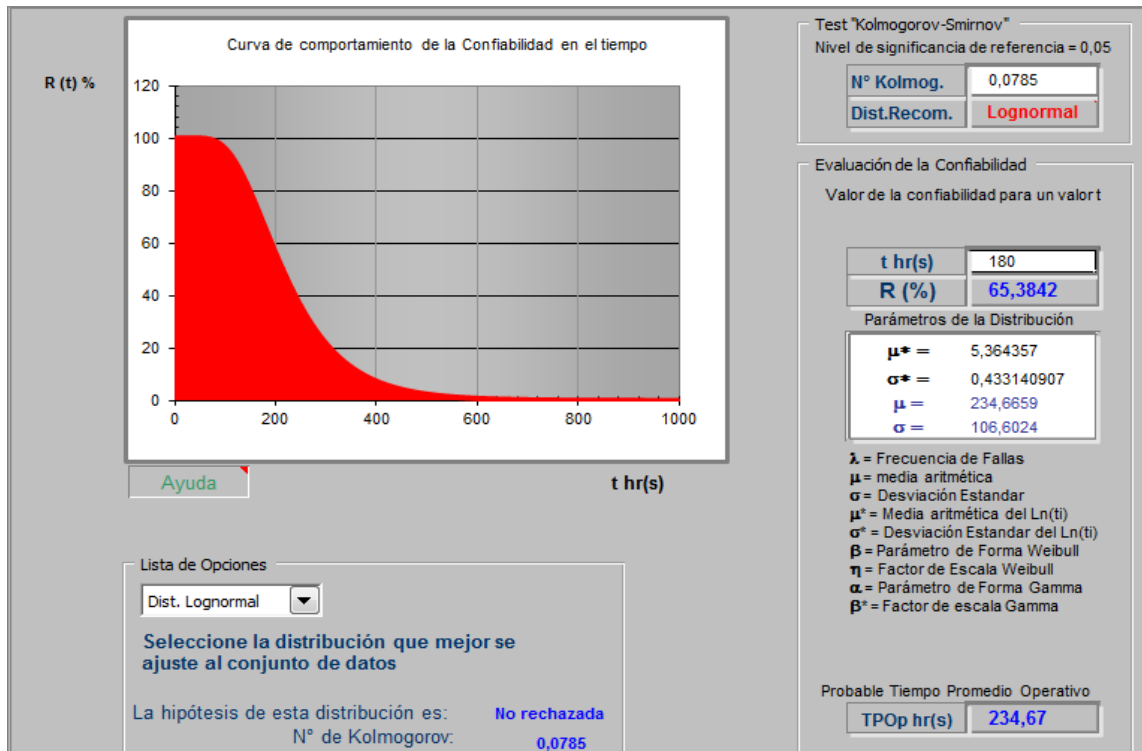
Rutina de Mttos Hrs	Hrs Trabajo Año	N° Mttos Año	Costo Anual
2000	5100	2,55	\$ 17.225,25
6000	5100	0,85	\$ 3.939,75
12000	5100	0,425	\$ 4.845,00
24000	5100	0,2125	\$ 30.812,50
Costo del Plan de Mtto Propuesto Anual			\$ 56.822,50

Tabla 7. Costo anual del plan de mantenimiento Propuesto

7. CALCULO DE INDICADORES DE DESEMPEÑO

HISTORICO DE FALLAS DEL EQUIPO DE 4 AÑOS 2011 - 2014

CONFIABILIDAD



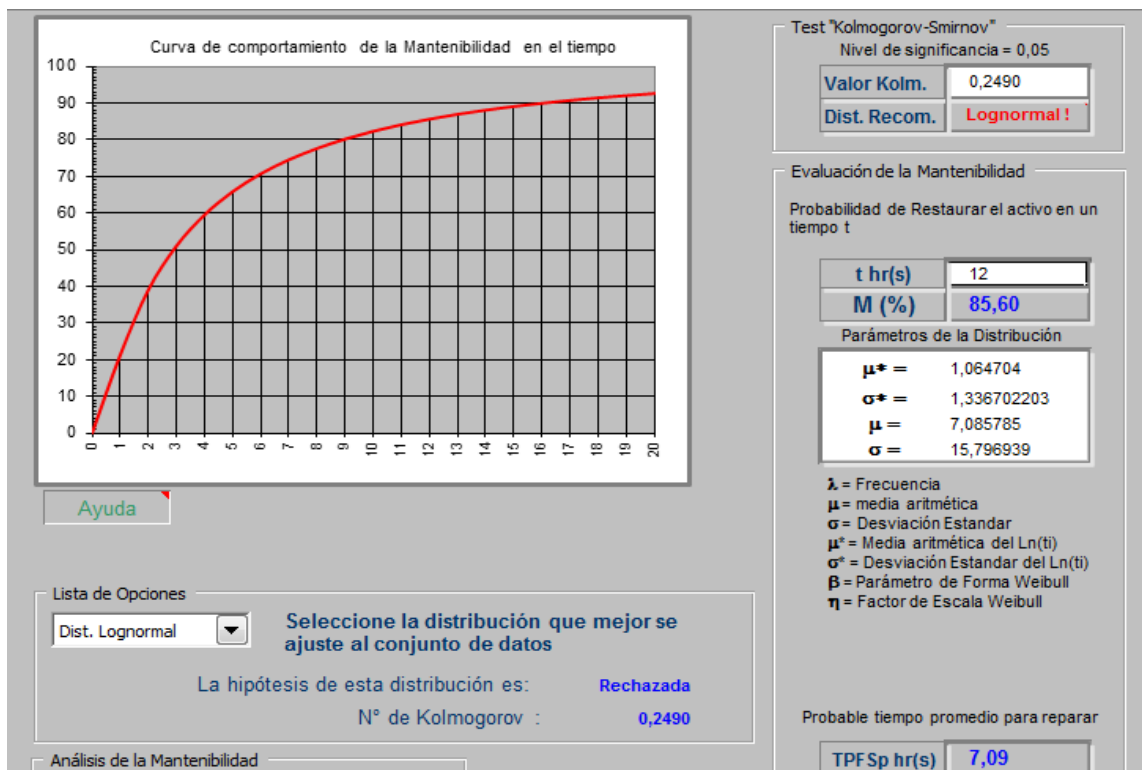
(HERRAMIENTA RELMANT)

MTTF / TPO (Mean time to failure / Tiempo promedio operativo)

234,67 horas.

Para un tiempo de 180 horas el equipo tiene una confiabilidad (R) del 65,3842%.

MANTENIBILIDAD



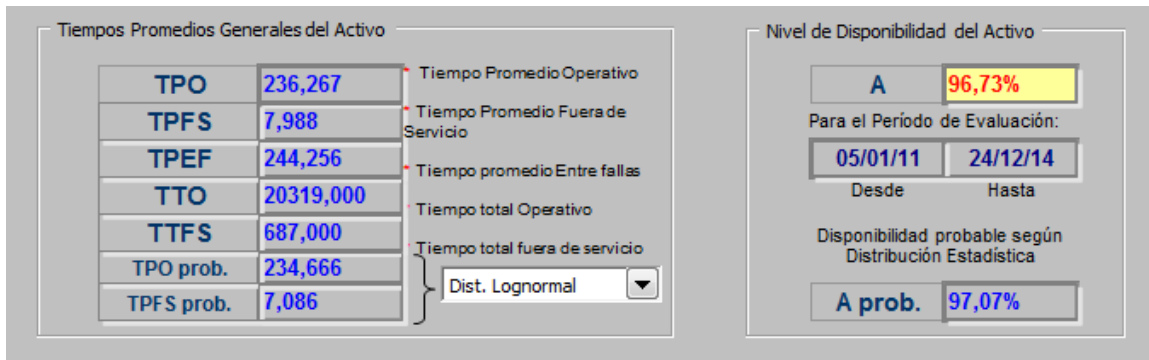
(HERRAMIENTA RELMANT)

MTTR / TTPR (Mean time to repair / Tiempo promedio para reparar)

7,09 horas

Para un tiempo de 12 horas el equipo tiene una mantenibilidad (M) del 85,60 %

DISPONIBILIDAD



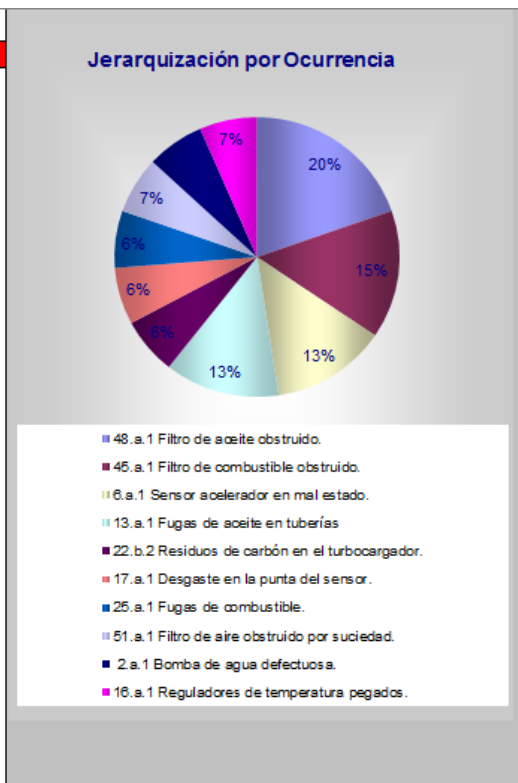
(HERRAMIENTA RELMANT)

A / D (Relaciona los tiempos promedios de reparación y los tiempos promedios operativos)

La disponibilidad del equipo es del 96,73%

MODOS DE FALLA PRESENTADOS EN EL PERIODO EVALUADO

Modo	Datos		
	N° Ocurr.	TPFS	TPO
48.a.1 Filtro de aceite obstruido.	12	1,083333333	214,6666667
45.a.1 Filtro de combustible obstruido.	9	1,055555556	182,4444444
6.a.1 Sensor acelerador en mal estado.	8	1,125	242,375
13.a.1 Fugas de aceite en tuberías	8	1,125	246,25
22.b.2 Residuos de carbón en el turbocargador	4	2,25	210,75
17.a.1 Desgaste en la punta del sensor.	4	2	208,25
25.a.1 Fugas de combustible.	4	2	229
51.a.1 Filtro de aire obstruido por suciedad	4	0,625	342
2.a.1 Bomba de agua defectuosa.	4	26	258,75
16.a.1 Reguladores de temperatura pegados	4	3,25	187,5
1.a.1 Inyector en mal estado.	4	49	206,25
20.a.2 Poca apertura de las válvulas.	4	16	306,75
3.a.2 Falso contacto eléctrico.	3	6	198
7.a.2 Sensor presión aceite defectuoso.	2	25	206
50.a.1 Fugas de aire.	2	2	200
3.a.2 Falso contacto eléctrico.	1	6	1014
32.a.1 Reguladora de presión mal estado.	1	8	220
23.a.2 Conector (es) suelto (s).	1	8	283
9.a.1 Sensor presión carter en mal estado	1	26	175
44.a.1 Desgaste de bujes.	1	12	170
10.a.2 Falla solenoide motor de arranque.	1	28	168
12.a.2 Daño en el interruptor	1	7	270
42.a.2 Sensor temperatura en mal estado	1	2	192
8.a.2 Alta resistencia eléctrica.	1	25	160
14.a.3 Rotura de empaque de culata.	1	48	337



(HERRAMIENTA RELMANT)

Con la implementación del nuevo plan de mantenimiento se busca un impacto directo en función de incrementar los TPO, disminución de los TPFS y debido a esta relación un incremento en la **DISPONIBILIDAD** lo que redundara en mayor capacidad de prestación del servicio o adjudicación de nuevos contratos basados en disponibilidad.

El nuevo plan de mantenimiento contraresta de manera directa algunos modos de falla presentados en el historico del equipo como:

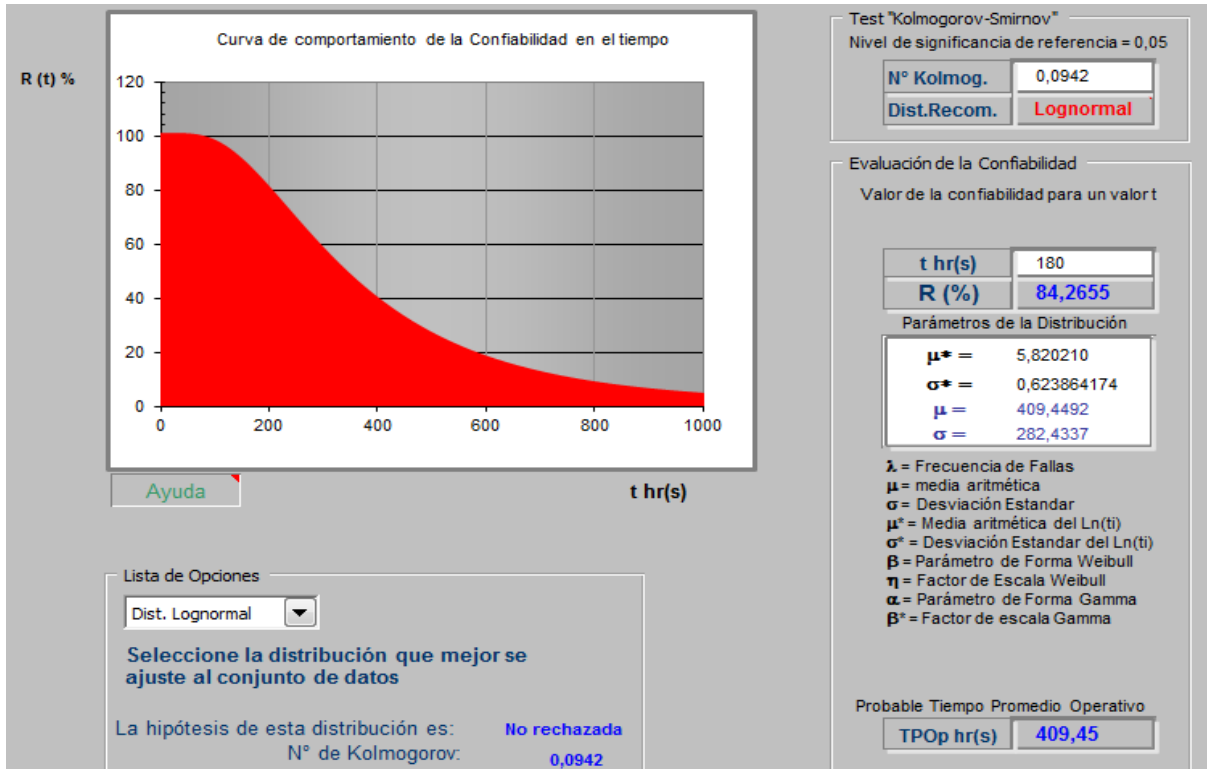
- Paradas por obstrucción de filtros.
- Paradas por poca apertura de valvulas.
- Paradas por fallas en la bomba de agua.
- Paradas por acumulación de carbon el los turbos.

Basado en lo anterior estimaremos la ampliación de los tiempos promedios operativos eliminando estos modos de falla, lo que nos daría un aumento en la confiabilidad.

De esta misma forma teniendo en inventario partes identificadas como críticas (Inyectores, Sensores, bomba de agua), en conjunto de mejores practicas de mantenimiento disminuiremos los tiempos promedios fuera de servicio, lo que nos daría un aumento en la mantenibilidad.

Por ultimo debido a la relación de los tiempos promedios de reparación y los tiempos promedios operativos, obtendriamos un aumento en la disponibilidad.

CONFIABILIDAD



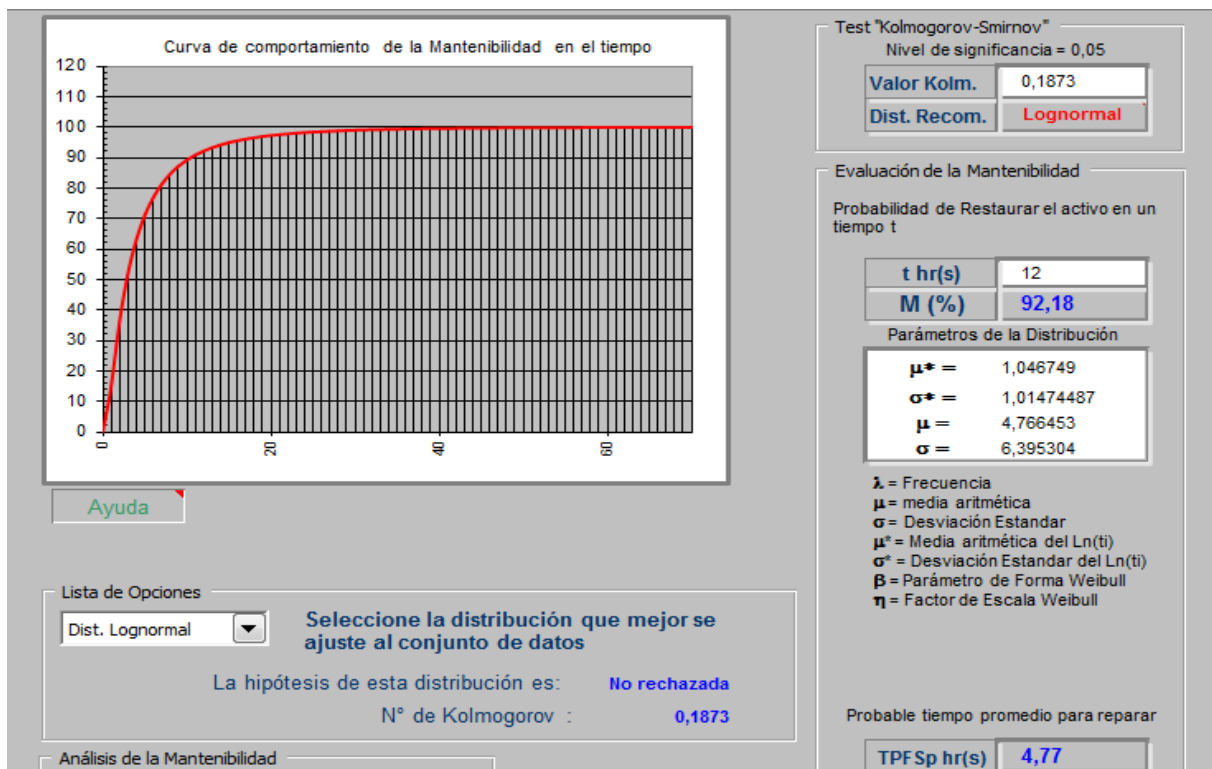
(HERRAMIENTA RELMANT)

MTTF / TPO (Mean time to failure / Tiempo promedio operativo)

409,45 horas.

Para un tiempo de 180 horas el equipo tiene una confiabilidad (R) del 84,2655%.

MANTENIBILIDAD



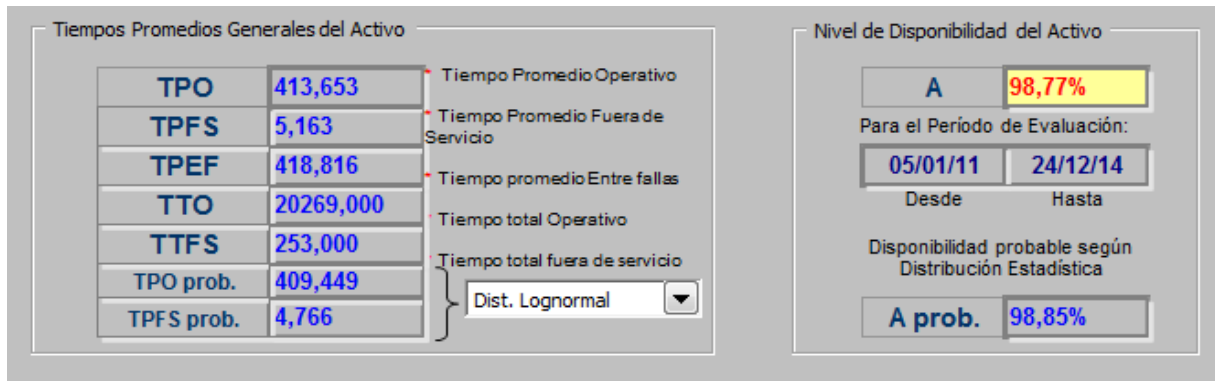
(HERRAMIENTA RELMANT)

MTTR / TPRR (Mean time to repair / Tiempo promedio para reparar)

4,77 horas

Para un tiempo de 12 horas el equipo tiene una mantenibilidad (M) del 92,18 %

DISPONIBILIDAD

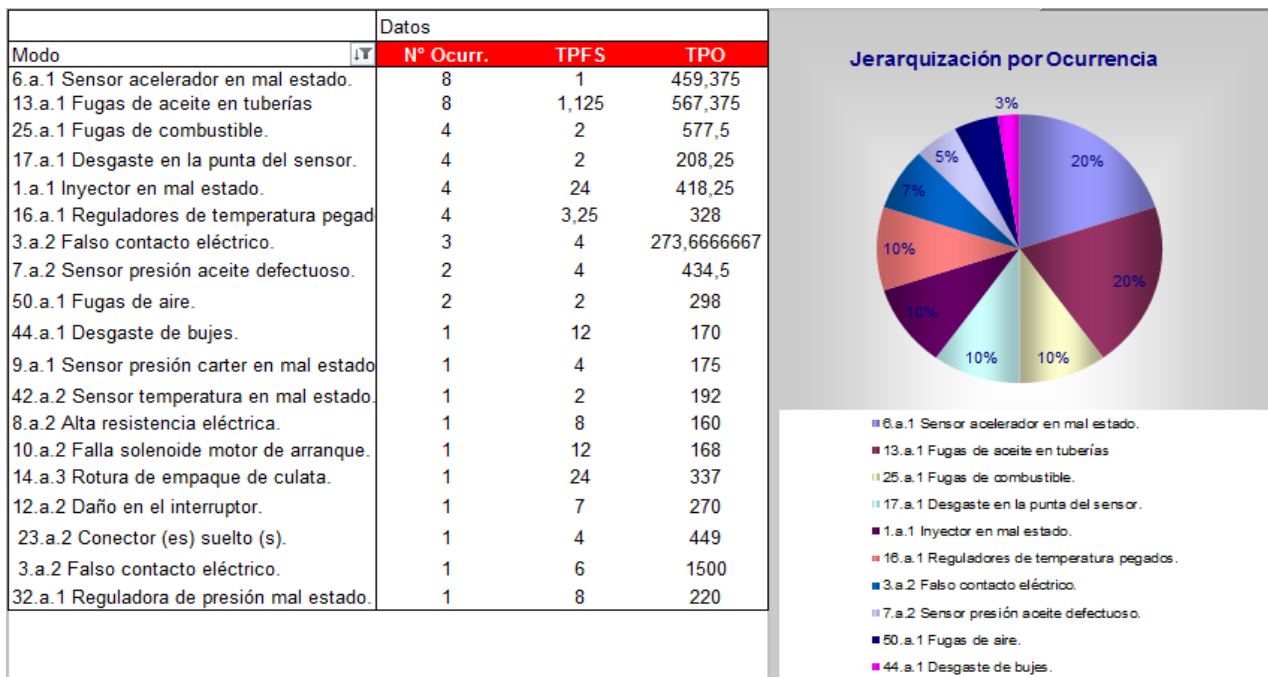


(HERRAMIENTA RELMANT)

A / D (Relaciona los tiempos promedios de reparación y los tiempos promedios operativos)

La disponibilidad del equipo es del 96,73%

MODOS DE FALLA PRESENTADOS EN EL PERIODO EVALUADO



(HERRAMIENTA RELMANT)

CUADRO RESUMEN					
INDICADOR	TPO (HRS)	TPFS (HRS)	R(%)	M(%)	A(%)
ACTUAL	234,67	7,09	65,3842	85,6	96,73
ESTIMADO	409,45	4,77	84,2655	92,18	98,77

Tabla 8. Cuadro resumen indicadores de desempeño.

8. CONSIDERACIONES FINALES

- La aplicación del plan de mantenimiento propuesto a partir del FMECA, podrá ayudarnos a mejorar en términos generales tanto la confiabilidad como los costos de los planes de mantenimiento de las embarcaciones analizadas. Para lograr lo anterior, resulta indispensable contar con la estrategia de mantenimiento más apropiada en conjunto de un personal fuertemente capacitado, tanto en el uso de las técnicas de análisis y diagnóstico de fallas como también con alto grado de conocimiento de las características de diseño y funcionamiento de los equipos.
- La metodología FMECA, puede resultar en un proceso complejo en términos de recursos necesarios para su implantación. Adicionalmente, una posible barrera a tener en cuenta es información detallada de los procesos de operación y mantenimiento, por lo que se debe contar con el personal de mayor experiencia en la ejecución del proyecto.
- EL FMECA, es una metodología que de forma clara y concisa nos permite entender los impactos y las consecuencias de los modos de falla. La clave del éxito consiste en planificar las estrategias de mantenimiento en función del análisis de riesgo de los modos de fallas analizados en el FMECA.
- Aunque existen múltiples versiones de FMECA, cada análisis debe ser particular y específico para cada embarcación. En el proceso de análisis deben participar expertos en todas las disciplinas involucradas y no solamente personal de mantenimiento (personal con conocimientos de las disciplinas de operaciones, riesgo, procesos, seguridad, calidad, logística, confiabilidad, entre otras).
- Las consecuencias de las fallas se miden mediante la evaluación del riesgo y su impacto sobre la organización, por lo tanto la función principal de mantenimiento es garantizar la producción o la prestación del servicio, atenuando o eliminando estas consecuencias identificadas en el FMECA, mediante la utilización de herramientas necesarias para aplicar los planes de mantenimiento recomendados.
- La metodología FMECA aplicada en el presente caso de estudio (Motor de propulsión Caterpillar 3512), permitió cuantificar el riesgo por año de cada modo de falla del motor y a su vez medir el riesgo total del equipo en estudio el cual se estimó en **401.204,40 USD / Año**.
- El costo del plan de mantenimiento actual de la compañía para un motor propulsor Caterpillar 3512 es de **110.993,00 USD / Año**. El costo del plan de mantenimiento propuesto después de aplicar el Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA) para un motor propulsor es de: **56.822,50 USD / Año**. Logrando una reducción de costos del plan de mantenimiento actual del 48,8 % (el plan de mantenimiento propuesto se enfoca en controlar y minimizar el riesgo de los modos de fallas críticos).
- El aumento que se estima de la disponibilidad (por evitar modos de fallas críticos) será de 2,04% lo que significa 104 horas más de servicio/año (800 USD costo de la hora de servicio), nos daría un potencial de prestación del servicio adicional que representaría una utilidad económica de **83.200,00 USD/Año** por embarcación.

- La compañía para la cual se realizó el presente trabajo adoptó esta metodología como uno de sus pilares dentro de su estrategia de excelencia operacional, gracias a la evidente optimización de los planes de mantenimiento y la reducción de los costos de estos planes.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Parra, Carlos y Crespo, Adolfo, 2012. «Nota técnica 5: Métodos de Análisis de Criticidad y Jerarquización de Activos,» de *Técnicas de Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicadas en el proceso de Gestión de Activos*, Sevilla, España, 2012. DOI: [10.13140/RG.2.2.16765.38884](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16765.38884)
- Bloom N, 2006. Reliability Centered Maintenance. Implementation made simple. McGraw-Hill Inc., New York.
- Crespo Márquez A, 2007. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. London: Springer Verlag.
- Jones Richard, 1995. Risk-Based Management: A Reliability-Centered Approach. Gulf Publishing Company, First Edition, Houston, Texas.
- Moubray Jhon, 1991. RCM II: Reliability Centered Maintenance, Industrial Press Inc., New York, USA.
- Parra C, 2009. Implantación piloto de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Llenadora de la Línea 10, Planta San Joaquín, Empresas Polar. INGECON, Informe técnico: SN-09-10-CCS, Caracas, Venezuela.
- Smith A y Hinchcliff R, 2004. RCM-Gateway to World Class Maintenance. ELSEVIER, New York.
- Woodhouse J, 1996. Course of Reliability Centered Maintenance (RCM) - Section two: Failure Modes and Effects Analysis. The Woodhouse Partnership, England.
- Parra, Carlos y Crespo, Adolfo (2015). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos. Segunda Edición. Edita: INGEMAN, España. DOI: [10.13140/RG.2.2.29363.66083](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29363.66083)
- A. Crespo Márquez, P. Moreu de León, J.F. Gómez Fernández, C. Parra Márquez and M. López Campos (2009). The maintenance management framework. Journal of Quality in Maintenance Engineering 15(2):167-178 DOI: [10.1108/13552510910961110](https://doi.org/10.1108/13552510910961110)
- Parra C (2013) Informe final del Proyecto de Confiabilidad. Empresa de Transporte de Gas. Resultados de la Auditoría Integral del Modelo de Gestión de Mantenimiento/ICOGAM: Ingeniería de Confiabilidad Operacional, Gestión de Activos y Mantenimiento. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.18429.18409>
- PARRA, C. y CRESPO, A. (2020). Técnicas de auditoría aplicadas en los procesos de Gestión de Mantenimiento y Fiabilidad. Informe técnico: INGECON/INGEMAN, Marzo de 2020 DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10169.60003>
- Viveros-Gunckel, P., Kristjanpoller-Rodriguez, F., Parra-Marquez, C., Crespo-Marquez, A., Gonzalez-prida-Diaz, V.. (2020). AUDIT MODELS FOR ASSET MANAGEMENT, MAINTENANCE AND RELIABILITY PROCESSES. CASE STUDY: ELECTRICITY TRANSMISSION SECTOR. DYNA Management, 8(1). [14 p.]. DOI: <https://doi.org/10.6036/MN9826>
- Parra C., González-Prida V., Candón E., De la Fuente A., Martínez-Galán P., Crespo A. (2020) Integration of Asset Management Standard ISO55000 with a Maintenance Management Model. In: Crespo Márquez A., Komljenovic D., Amadi-Echendu J. (eds) 14th WCEAM Proceedings. WCEAM

2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64228-0_17

Parra, Carlos. & Crespo, Adolfo, «Nota técnica 6: Optimización de planes de Mantenimiento: Mantenimiento Centrado en Fiabilidad (MCF) Reliability Centered Maintenance (RCM),» de *Introducción a la Gestión de Activos Integración con las Técnicas de Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento*, University of Seville, Spain, Ingeman, 2016, p. 40. DOI: [10.13140/RG.2.2.25027.63524](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25027.63524)

Parra, C., y Crespo, A. 2020. Nota técnica 1: Introducción a un modelo integral de Gestión del Mantenimiento (MGM)“. Editado por INGEMAN, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Sevilla, España. DOI: [10.13140/RG.2.2.13046.63049](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13046.63049)

Stamatis, d.h. 1995. Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from theory to execution. Isbn 087389300x. Asq – American Society of Quality. Milwaukee, Wisconsin, EEUU.

Alberto Mora Gutiérrez (2010). Mantenimiento, planeación, ejecución y control.

Moubray, John. “RCM II: Reliability Centered Maintenance”, industrial press Inc. New York, USA, 1991.

Aiche. 1992. Guidelines for hazard evaluation procedures. American institute of chemical engineers, center for chemical process safety. 2a ed. (with worked examples). Nueva York, NY, EEUU.

Comimsa. 2008. Proyecto piloto RCM – Comimsa. Gerencia de aplicación tecnológica. Saltillo, Coahuila, México.

Iso. 2006. Iso-14224 - petroleum, petrochemical and natural gas industries-collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment. International organization for standardization. Ginebra, Suiza.

SAE. 2002. Norma sae ja 1012 – a guide to the Reliability – Centered Maintenance (RCM) standard. Enero 2002. Society of automotive engineers, inc. The engineering society for advancing mobility land sea air and space. Warrendale, PA. EEUU.

Información adicional:

Carlos Parra

Gerente General de IngeCon (Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)

Representante de INGEMAN Latinoamérica

www.confabilidadoperacional.com

www.ingeman.net

E-mail: parrac@ingecon.net.in

parrac37@gmail.com

www.linkedin.com/in/carlos-parra-6808201b

<http://www.youtube.com/c/CarlosParralngecon>

Grupo de Ingeniería de Confiabilidad Operacional

<https://www.linkedin.com/groups/4134220>

<https://www.youtube.com/c/CarlosParralngecon>

Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros

Doctorado en Ingeniería de Organización Industrial

www.ingeman.net <https://ingeman.net/?op=profesores>