

CASO DE APLICACIÓN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD RCM, PREVIA EXISTENCIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Case of application of Maintenance Centered Reliability RCM, previous existence of Preventive Maintenance

RESUMEN

En este artículo se presenta el resultado de la aplicación de una metodología, mediante la cual a una empresa del orden nacional, del ramo del transporte de encomiendas, con un programa de Mantenimiento Preventivo madurado, se le aplicó un programa de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, con lo cual se modificó su Programa de Mantenimiento Preventivo, simplificándolo, y haciéndole aportes de Mantenimiento Predictivo y Mantenimiento Autónomo. El rediseño de la función Mantenimiento ha logrado reducir la Carga de trabajo de Mantenimiento, sin reducir la disponibilidad de los equipos, y en el peor de los casos conservando la Confiabilidad.

PALABRAS CLAVES: Carga de Trabajo de Mantenimiento *CTM*, Confiabilidad, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad *RCM*.

ABSTRACT

This paper presents the result of the application of a methodology, by means which to a company of a national order, at the line of freight operator, with a Preventive Maintenance Program matured, there was applied a Reliability Centered Maintenance Program, which Preventive Maintenance program was redesign and simplified, and doing to him contributions of Predictive Maintenance and Autonomous Maintenance. The Redesign of function Maintenance has managed to reduce the load work Maintenance, without reducing the availability of the machines, and at worst case preserving the reliability.

KEYWORDS: Load work Maintenance *LWM*, Reliability, Reliability Centered Maintenance *RCM*.

CARLOS A. MONTILLA M.

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Auxiliar
Universidad Tecnológica de Pereira
cmontilla@utp.edu.co

JUAN FELIPE ARROYAVE,

Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Especial
Universidad Tecnológica de Pereira
jfa@utp.edu.co

CARLOS EDUARDO SILVA M.

Ingeniero Mecánico.
Universidad Tecnológica de Pereira
cesmfv@yahoo.com

1. INTRODUCCIÓN

El surgimiento y aplicación del Mantenimiento Preventivo *MP*, data de comienzos de la década del 50, y con diversos refinamientos su uso perdura hasta nuestros días. Como estrategia de Mantenimiento, el *MP* se basa en revisiones, inspecciones, cambios y ajustes, realizados a unas ciertas frecuencias, sobre los diferentes equipos de un proceso productivo, con el fin de asegurar su condición operativa adecuada, minimizando el riesgo de ocurrencia de correctivos emergentes; fruto de las tareas anteriores, se programan y ejecutan mantenimientos correctivos si la situación lo amerita. Cada una de las actividades anteriores (Preventivo, Correctivo programado y Correctivo emergente) generan una Carga de Trabajo de Mantenimiento *CTM*, cuya realización puede llegar a demandar recursos humanos, físicos y económicos en exceso.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad ó *RCM* por sus siglas en Ingles, surgió en la tercera generación del Mantenimiento, es decir a comienzos de los años 80,

y su aplicación ha venido en ascenso, bien sea en Plantas nuevas o como un complemento y evolución del *MP*.

A diferencia del *MP*, el objetivo del *RCM* no es conservar la condición operativa de los equipos, sino garantizar que el equipo cumpla la función o funciones para las cuales ha sido introducido en un proceso productivo, es decir, el *RCM* se centra en garantizar la máxima *Confiabilidad* de un proceso/equipo, entendiendo la *Confiabilidad* como la probabilidad de que un equipo no falle durante su operación ^[1].

La *Confiabilidad* se evalúa haciendo uso del *Tiempo Promedio Entre Fallas TPF*, tal como lo indica la ecuación 1.

$$TPEF = \frac{\text{Tiempo.Funcionamiento}}{\text{Número.de.puestas.en.servicio}} \quad (1)$$

A un nivel más formal, el *RCM* es una Filosofía de Gestión de Mantenimiento, que optimiza la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones

de trabajo definidas, en función de qué tan críticos son los activos, tomando en cuenta los posibles efectos que originarán los modos de falla que estos activos, a la seguridad, al ambiente, a las operaciones.

El *RCM* determina el estado crítico de los equipos de cualquier proceso y, basado en esa información implementa un Mantenimiento Preventivo/Predictivo para las organizaciones^[2].

Si se toma como referencia a unas ciertas empresas X e Y, pertenecientes a un sector productivo Z, teniendo en la empresa X instaurado *MP*, mientras que en la empresa Y se tiene instaurado *RCM*, la Carga de Trabajo de Mantenimiento *CTM* de la empresa Y puede estar entre un 40% y 70% por debajo de la *CTM* de la empresa X^[3]. La disminución de la *CTM* se debe a que mientras en el *MP* se atiende de manera concienzuda los diversos subsistemas del equipo, en el *RCM* se atienden los subsistemas, que previo estudio de criticidades, afectan la confiabilidad del equipo, es decir, los subsistemas que afectan la función del equipo dentro del proceso productivo.

El *RCM* presta atención a un axioma clásico en el Mantenimiento, que palabras más, palabras menos dice: “No hacer Mantenimiento es muy costoso, pero hacerlo en exceso es también muy costoso”, es decir trata de buscar un punto de equilibrio entre el mantener poco, y el mantener en exceso.

La aplicación real de que trata este artículo se realizó en una empresa Transportadora de encomiendas por carretera del orden nacional la cual hace uso de furgones de 1 ton, 3ton, 10ton, 20ton y tractomulas de 35ton.

Dicha empresa presenta las siguientes particularidades:

- De tiempo atrás venía manejando organizadamente un programa de Mantenimiento Preventivo, por lo cual podría decirse que dicho programa se encontraba en una etapa madura.
- El programa de Mantenimiento preventivo está asistido por un software de Mantenimiento, el cual ha sido retroalimentado debidamente, razón por la cual se dispone de estadísticas de fallas, de consumos, de reparaciones, de costos, etc.

2. MARCO CONCEPTUAL BÁSICO *RCM*

Los términos y conceptos básicos se pueden consultar en la referencia [4], sin embargo se recuerdan los términos básicos que se deben tener en cuenta.

Falla funcional, Fallas parcial (potencial), Causa, Efecto, Modo de falla, Frecuencia (F), Gravedad o severidad de la falla (G),

Índice de Riesgo o Número de Prioridad de Riesgo (*NPR*): resultado numérico de multiplicar la frecuencia, por la Gravedad de la Falla.

$$NPR = F * G \quad (2)$$

3. METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DEL *RCM*

La aplicación de *RCM* pretende determinar la criticidad de un equipo dentro del proceso productivo, mediante el cálculo del *NPR*, entendiendo que ese cálculo implica conocer muy bien el funcionamiento y la dinámica de la Planta (sistema) y de los diferentes equipos (subsistemas).

A partir del cálculo de los *NPR*, se pasa a un proceso de toma de decisiones en cuánto a las acciones a tomar, las cuales pueden ir desde “Aceptar el riesgo de falla” hasta “Rediseñar el sistema ó componente”, pasando por actividades de Mantenimiento Preventivo/Predictivo, dependiendo de los valores del *NPR*, tal como se verá en el numeral 3.2.

Para implementar un sistema de mantenimiento *RCM* se sugiere seguir la metodología simplificada descrita a continuación:

3.1 PREGUNTAS ACERCA DEL EQUIPO Y SU DINÁMICA

La contestación adecuada a las preguntas listadas garantizará la comprensión y contextualización de la operación del equipo dentro de su entorno.

1. ¿Cuáles son las funciones y los modelos ideales de rendimiento del recurso en el actual contexto operativo (Funciones)?
2. ¿En qué formas no puede cumplir sus funciones el equipo ó sistema (fallas funcionales)?
3. ¿En qué condiciones el equipamiento fallará? Se trata de describir los modos de falla potenciales.
4. ¿Qué ocasiona cada falla funcional (Modos de falla)?
5. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla funcional (efectos de la falla)?

Con esto se describe el efecto potencial de la falla, y surgen otras preguntas: ¿ocurrirá parada de la producción? ¿Ocurre reducción de la producción? ¿La calidad del producto es afectada? ¿Cuáles serán los daños provocados?

6. ¿Cuál es la Frecuencia ó probabilidad de ocurrencia de la falla? (Ver tabla 1).
7. ¿Cuál es la Gravedad ó Severidad de la falla? (Ver Tabla 2).
8. Una vez respondidas las preguntas anteriores, se debe calcular el *NPR* y estimar su “peso relativo” (Tabla 3).

Rango	Probabilidad	Comentario
1	1/10000	Probabilidad remota, no se espera falla
2	1/5000	Probabilidad baja
3	1/2000	Probabilidad baja
4	1/1000	Ocasional
5	1/500	Moderada
6	1/200	Moderada
7	1/100	Alta
8	1/50	Alta
9	1/20	Muy alta
10	1/10	Muy alta

Tabla 1. Probabilidad de ocurrencia de las fallas [5]

Rango	Efecto	Comentario
1	Ninguno	La falla no tendrá efecto en el ambiente, la salud, la seguridad y la función del sistema
2	Muy leve	Perturbación menor funcionamiento. Posible acción correctiva durante el funcionamiento
3	Leve	Igual que la anterior pero con una acción correctiva que puede durar un poco mas
4	Entre leve y moderado	Perturbación menor, probabilidad de recomodar la función del sistema o demora del proceso
5	Moderado	Demora del 100% del sistema o recomodación total
6	Entre moderado y alto	Se pierde una parte importante de la función del sistema, demora en la reparación
7	Alto	Alta perdida en la función del sistema, demoras mayores para restaurar su funcionamiento
8	Muy alto	Se pierde función, gran demora en la reparación
9	Riesgoso	Inconvenientes graves en cuanto a seguridad, salud y ambiente. La Falla puede ser detectada.
10	Riesgoso	Igual anterior. La falla ocurrirá sin advertencia previa

Tabla 2. Severidad de las fallas [5]

Componente del NPR	Clasificación	Peso
Índice de Riesgo (NPR)	Bajo	1 a 5
	Medio	5 a 10
	Alto	10 a 20
	Muy bajo	20 a 100

Tabla 3. Peso relativo del NPR [Adaptada de 3]

Por medio de este análisis es posible pasar entonces a la toma de dediciones y definir el tipo de mantenimiento o acción a adoptar con respecto a los sistemas, subsistemas, componentes del vehiculo y situaciones que se puedan presentar.

3.2 TOMA DE DECISIONES A PARTIR DEL CÁLCULO DEL NPR

Una vez calculados los NPR, se deben desarrollar planes de acción para eliminar o corregir el problema potencial, básicamente se responden preguntas del estilo ¿Qué debe hacerse para predecir o prevenir cada falla? (tareas proactivas e intervalos de labores); en este punto son de mucha ayuda los análisis causa-raíz o espina de pescado, además deben tenerse en cuenta alternativas (acciones por defecto o remediales) si una tarea proactiva adecuada no puede ser encontrada o no es económicamente factible.

La teoría del RCM, propuesta y aplicada por la NASA [5], hace uso de una cadena de razonamiento lógico (figura 1) en cuanto a la determinación del modo de proceder con respecto a los escenarios de falla encontradas, donde se llega por ultimo a cinco alternativas posibles:

- Aceptar el riesgo de la falla
- Instalar unidades redundantes
- Definir actividades de Mantenimiento Preventivo
- Programar actividades de Mantenimiento Predictivo
- Proponer rediseño del sistema

3.2.1 Aceptación del riesgo de la falla. Cuando no resulta viable por razones de prioridad, costos y variabilidad de las frecuencias de falla, aplicar tareas de Mantenimiento preventivo, se asume el riesgo de la falla y se estudia la posibilidad de realizar un monitoreo constante del sistema, subsistema o componente.

3.2.2 Instalación de unidad redundante Consiste en proveer al sistema de un equipo alterno, el cual se ponga en marcha en caso de falla de alguno de los componentes y realice un reemplazo temporal.

3.2.3 Tareas de mantenimiento preventivo Corresponden al conjunto de tareas de revisión, inspección, ajuste, lubricación desarrolladas a unas ciertas frecuencias (recomendadas por fabricantes o fruto de la experiencia y seguimiento del personal a cargo del mantenimiento), sumado a las posteriores tareas de Mantenimiento correctivo.

3.2.4 Tareas de mantenimiento Predictivo Es común en el mantenimiento industrial hacerse de métodos de predicción de fallas, como los análisis de vibraciones y cámaras termográficas.

3.2.5 Rediseño del sistema Por lo general es aplicable en mantenimiento industrial, específicamente en el movimiento de fluidos, este tipo de propuesta, hace modificaciones de forma y funcionamiento en el sistema, las cuales son meritorias a través de los análisis de costos.

4. IMPLEMENTACIÓN DE RCM EN UNA EMPRESA TRANSPORTADORA

A partir de las estadísticas de falla de los años 2004, 2005 y 2006, de la empresa transportadora, se determinó que los equipos a tomar como objeto de estudio serían las tractomulas, debido por un lado a su alta participación en la distribución de la flota, por otro lado a que cubren rutas nacionales y recorren en promedio 10000km/mes y por último, debido al régimen de trabajo presentaban un elevado número de fallas [6].

4.1 Resolución preguntas numeral 3.1, aplicadas a las tractomulas.

- **Función principal del vehículo de carga** Transportar mercancía, a un destino deseado, en un tiempo deseado.

- **Funciones secundarias del vehículo de carga**

- Obtener de éste una ganancia operacional
- Garantizar unos gastos mínimos de operación y mantenimiento
- Garantizar la seguridad del operario del vehículo y sus asistentes (por lo general el vehículo cuenta con un conductor y uno o dos asistentes de entrega de paquetes)
- Emitir la menor cantidad posible de contaminantes.
- Proporcionar seguridad e integridad a la mercancía transportada para que llegue sin daños a su destino

- **Identificación de fallas funcionales, fallas potenciales y modos de falla.** El desglose de esta identificación se puede consultar en los capítulos 2 y 8 de la referencia [6], sin embargo, a modo de ejemplo, la tabla 4 presenta un condensando de fallas funcionales.

- **Cálculo del NPR y estimación de su peso.** Como se puede observar, la tabla 1 está hecha con base en probabilidades, pero dado que se dispone de estadísticas de fallas funcionales, se llevó a cabo el escalamiento condensado en la tabla 5. El escalamiento se elaboró encontrando el factor divisor existente entre los diferentes rangos de la tabla 1, y aplicándolos luego al total de 327 fallas funcionales ocurridas al parque de las tractomulas, en el período 2004-2007.

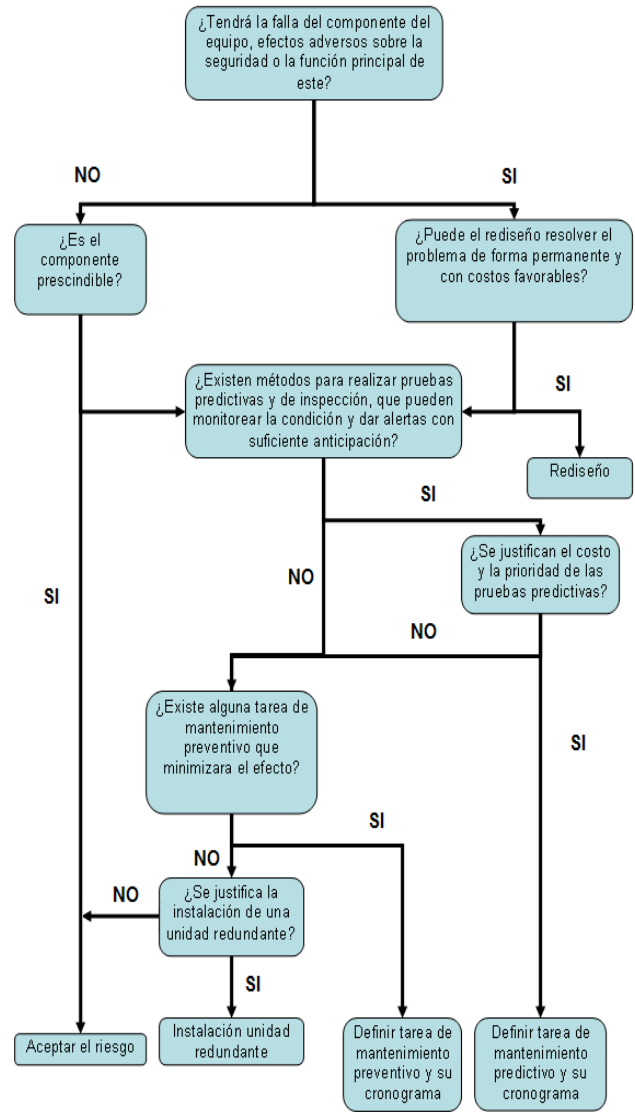


Figura 1. Cadena de razonamiento RCM [6]

Fallas 2004	
Modo de falla "Mecánica"	Total
Vehiculo se apago y no prende	6
Vehiculo desforzado	6
Recalentamiento	5
Rotura filtro agua	2
Fuga de combustible por la culata	2
Rotura radiador	2
Fuga válvula relay	2
Caja neutralizada	3
Fuga de agua circuito de refrigeración	2
Se soltó pacha trasera	2
Rotura turbo cargador	2
Fuga aire sistemas frenos	2
Modo de falla "Electricidad"	Total
Alternador no carga	5

Fancluth no opera	2
Vehiculo se apago y no prende	6
Fancluth no opera	2
Vehiculo desforzado	5
Vehiculo no acelera	2
Vehiculo se quedo sin luces	2

Tabla 4. Fallas funcionales más comunes año 2004^[6]

Rango	Frecuencia	Comentario
1	1/327	Remota, no se espera falla
2	2/327	Frecuencia muy baja
3	5/327	Frecuencia baja
4	10/327	Ocasional
5	20/327	Moderada
6	50/327	Moderada
7	100/327	Alta
8	150/327	Alta
9	200/327	Muy alta

Tabla 5. Frecuencias escaladas para cálculo NPR.

Por razones de espacio no es posible presentar el cálculo completo de los NPR para las diferentes fallas funcionales, sin embargo puede ser consultado en el anexo 12 de la referencia [6].

4.2 Toma de decisiones a partir del cálculo del NPR

Las decisiones y acciones tomadas se corresponden con la adaptación de las alternativas propuestas en el numeral 3.2, pero adaptadas al caso de equipos móviles (flota de tractomulas), dichas adaptaciones se formularon así:

Aceptación del riesgo de la falla. Se aplicó conservando la misma filosofía original.

Instalación de unidad redundante No aplica en flotas de transporte de carga, debido a que los componentes principales de los vehículos son unitarios y no es común ni precedente el contar con componentes o subsistemas de emergencia.

Tareas de mantenimiento preventivo Las revisiones antes de la salida de cada equipo a viaje y durante periodos determinados por el kilometraje y recomendados en su gran mayoría por el fabricante del vehiculo hacen parte de las tareas de mantenimiento preventivo asignadas a estos elementos del sistema. Para el estudio objeto del presente artículo se pueden apreciar con más detalle en la referencia [6].

Tareas de mantenimiento Predictivo En el mantenimiento automotriz, la herramientas más poderosas son las alarmas dispuestas en el tablero de control del vehiculo que permiten un monitoreo constante del equipo, la observación del desempeño diario del vehiculo (que también podría ser tomada como una rutina preventiva), el control de desgaste de llantas y los análisis de aceite usado^[6].

Rediseño del sistema En el mantenimiento vehicular, es posible aplicar esta propuesta haciéndole llegar a los proveedores y fabricantes de vehículos, las apreciaciones que uno tiene de sus productos y de igual forma, cuando se tiene la opción de escoger las marcas de los componentes del vehiculo como el motor, la caja, los filtros, etc.; se puede diseñar una configuración *optima*, con componentes durables, mayores periodos de mantenimiento preventivo y mejor desempeño.

Para la falla funcional “Vehículo se apagó y no prende” la tabla 8 presenta el análisis de sus causas, el cálculo del NPR, la acción ó decisión tomada (de acuerdo a la cadena de razonamiento de la figura 1), y por último el Mantenimiento dentro del cual quedó contemplada la atención de cada causa.

Cabe anotarse que si el enfoque hubiese sido trabajar estrictamente con Mantenimiento Preventivo, habrían 27 tareas de MP (para ejecutarse a diferentes frecuencias, con el compromiso de recurso Humano y fisico), correspondientes a la atención de 27 causas de la falla funcional en estudio, sin embargo, con la aplicación de RCM ocurrió una reducción significativa de la CTM debida a MP, tal como lo muestra la tabla 6.

Causas	Acción ó decisión	Tipo Mantenimiento aplicado
12	Aceptar falla	Correctivo programado ó emergente
14	Revisión diaria	Mantenimiento Preventivo
1	Revisión conductor	Mantenimiento Autónomo
27		

Tabla 6. Reestructuración de tareas de Mantenimiento con la aplicación de MP.

Para resumir, el programa original de Mantenimiento quedó reestructurado acorde a la Tabla 7.

Mantenimiento	Actividades principales
Preventivo	- Rutina de alistamiento viaje. Revisión diaria (hecha por mecánicos). - Mantenimiento a los 15000, 30000, 60000, 120000 y 240000km.
Autónomo	- Formato de inspección antes y durante el uso del automotor (labor proactiva).
Predictivo	- Análisis de aceites en uso. - Control desgaste llantas.
Correctivo Programado	- Tareas estandarizadas en tiempos y procedimientos

Tabla 7. Reestructuración global del Mantenimiento, una vez aplicado RCM.

5. CONCLUSIONES

Para una situación real se ha podido constatar lo predicho por la Teoría, en el sentido de que la reducción de *CTM* con la aplicación de *RCM* es significativa, lo que a la Compañía en estudio le ha permitido con el mismo personal operativo atender un mayor número de equipos, sin menoscabo de la disponibilidad y la confiabilidad.

Durante la ejecución del presente trabajo se evidenció la dificultad de realizar cambios en las Empresas, debido a la inevitable ruptura de paradigmas (resistencia al cambio).

La ejecución del presente trabajo permitió a los directivos y personal operativo de mantenimiento, “repensar” tanto el objeto de su trabajo como su quehacer cotidiano, a mediano y a largo plazo.

6. BIBLIOGRAFÍA

[1] C. Montilla, Mantenimiento Industrial. Notas de clase. Universidad Tecnológica de Pereira. Primer semestre 2007.

[2] J. Moubray, ¿Otras versiones de RCM? Traducido y adaptado por Carlos Mario Pérez J. Disponible en www.soporteycia.com.co

[3] J. Moubray, El camino hacia el RCM. Traducido y adaptado por Carlos Mario Pérez J. Disponible en www.soporteycia.com.co

[4] A. Kardec, J. Nascif, Mantenimiento: Función estratégica. Editorial Qualitymark. Rio de Janeiro. 2002.

[5] Estados Unidos (2000, Feb.). National and Aeronautics Space Administration (NASA) Reliability centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. Disponible en: www.hq.nasa.gov/office/codej/codejx/Assets/Docs/RCMGuideMar2000.pdf

[6] C. Silva, Diseño de un sistema de Mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre. Trabajo de grado. Universidad Tecnológica de Pereira. Ingeniería Mecánica. 2007.

Tabla 8. Análisis de la falla funcional “vehículo se apaga y no prende”^[5]

Falla funcional	Modo de falla	Causas	F	G	Criticidad	Acción desarrollada ó decisión tomada	Contemplado en
Vehículo se apagó y no prende	Mecánico	Sin presión de aceite (desgaste bomba)	1	4	4	Aceptar falla	Mantenimiento correctivo
		Falla total bomba de combustible	1	10	10	Aceptar la falla	Mantenimiento correctivo
		Caducidad filtro de combustible	1	4	4	Preventivo	Programa MP
		Manguera de combustible suelta	1	4	4	Revisión diaria, Conductor	Mantenimiento Autónomo
		Desajuste filtro de combustible	2	4	8	Preventivo	Programa MP
		Fuga por la tapa del filtro de combustible	4	4	16	Preventivo	Programa MP
		Obstrucción filtro de combustible	4	2	8	Aceptar falla	Mantenimiento correctivo
		Falla total bomba de transferencia	1	10	10	Aceptar la falla	Mantenimiento correctivo
		Alarma de bajo nivel agua (fuga)	1	4	4	Revisión diaria	Programa MP
			Eléctrico	Alternador no carga	11	7	77
	Falla ECM	4		10	40	Aceptar la falla	Mantenimiento correctivo
	Fusible ECM	2		10	20	Aceptar la falla	Mantenimiento correctivo
	Rotura borne batería	1		10	10	Aceptar la falla	Mantenimiento correctivo
	Sensor posición motor sucio	1		4	4	Se eliminó lavado motor	
	Reposición válvula solenoide	1		10	10	Aceptar falla	Mantenimiento correctivo
	batería baja carga	3		4	12	Revisión diaria	Programa MP
	Corto alternador	1		7	7	Revisión diaria	Programa MP
	Corto válvula solenoide	2		6	12	Aceptar falla	Mantenimiento correctivo
	suciedad bornes batería	3		2	6	Revisión diaria	Programa MP
	motor arranque suelto	1	5	5	Revisión diaria	Programa MP	
	disyuntor motor de arranque	1	5	5	Revisión diaria	Programa MP	
	conector inyector	1	5	5	Revisión diaria	Programa MP	
	Borne batería roto	1	8	8	Revisión diaria	Programa MP	
	Cable ECM partido	1	6	6	Revisión diaria	Programa MP	
	Conector nivel de agua desconectado	1	2	2	Aceptar falla	Mantenimiento correctivo	
	Cable válvula cortado	1	7	7	Aceptar falla	Mantenimiento correctivo	
	Cables en corto	1	4	4	Revisión diaria	Programa MP	