UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCIÓN REY BALDUINO DE BELGICA

Análisis y mantenimiento al modo de falla de un sistema de refrigeración del automóvil.

Trabajo de titulación para optar al título profesional de ingeniero de ejecución en MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Nombre del alumno:
Brian Domínguez Albornoz

Nombre profesor guía:
Juan José Figueroa Cohn

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo de título, que gracias a Dios por sobre todas las cosas, además, va dedicado con agradecimiento a todas las personas que desde un inicio hasta el fin estuvieron apoyándome en cada proceso de estudio, que, con el sudor de mi frente y el apoyo financiero familiar logré tener y ser cada día mejor persona, estudiante y trabajador; O al menos es lo que me propongo cada día. No obstante ha sido un camino largo y arduo el tener que enfrentar desde el segundo año de universidad una pandemia que afectó a todo el mundo en temas de salud, y además, la inclusión digital al modelo de estudio en estos tiempos no fue algo sencillo. Sin embargo, se le dedicó tiempo, esfuerzo y perseverancia por lo que, se completó el objetivo de la Universidad con satisfacción, para hacernos mejores profesionales dentro de los recursos que hay disponibles.

.

Dedico cada llanto, cada impulso y cada risa a la vida, que tuve que sobrellevar paralelamente a mis estudios…sí, no todos solo estudiamos, hay estudiantes que trabajan día tras día para poder costear sus gastos y universidad, que por lo demás, deberá ser pagada al estado con cargos adicionales y lucro. Por ellos sí que me saco el sombrero, yo personalmente obtuve gratuidad y trabajo también, lo cual estoy bastante agradecido. Espero con ansias que puedan leer cada párrafo y cada título que con esfuerzo y competencias de la Universidad Técnica Federico Santa María se adaptaron e a mi persona y lograron hacerme plantear y resolver un problema de manera ingeniera y técnica.

RESUMEN

El presente trabajo de título, contiene información acerca de la descripción mecánica de lo que es un motor a combustión interna, describiendo su sistema general de procesos y el objetivo de la mecánica automotriz. Componentes del subsistema que posteriormente serán clasificados también por la función principal de cada uno de ellos.

Cabe destacar, que cada componente o subsistema dentro de un sistema, tiene funciones que al detenerse de la misma y no lograr un objetivo, se le conoce como el fallo, la metodología de un componente dentro de un proceso el cual no puede ser terminado porque hubo una detención. Es por ello que se analizarán todos los modos de fallo de los componentes y se ordenaran de manera crítica, a través de un análisis de modo y efectos de fallo (AMFE).

Este último será descrito y definido, con el fin de lograr entender la matriz de modos de falla de una manera que se pueda aplicar a nuestro sistema a estudiar. Mostraremos un gráfico de Pareto, con las causas más críticas del sistema y de esta manera aseguraremos la confiabilidad de cada componente del sistema según el valor final de NPR (Numero prioritario de riesgo), para finalmente proporcionar estrategias de mantenimiento que nos permitan aumentar la vida útil y/o disminuir los fallos en el tiempo aumentando la confiabilidad del sistema de enfriamiento.

Para ello se estudiará el modo de fallo de un sistema de refrigeración que como consecuencia, produce un fallo funcional dentro de nuestro sistema que, como es un sistema critico de nuestro motor a combustión interna, esté vehículo queda en estado de detención total.

INDICE

Contenido

INDICE 4
INDICE DE graficos 7
INDICE DE TABLAs 8
CAPITULO 1: MARCO TEORICO 13
1.1 Industria automotriz: 14
1.1.1 Seguridad en la industria 14
1.2 Motor a combustión interna: 14
1.3 El mantenimiento automotriz 15
1.3.1 El mantenimiento: 15
1.3.2 En la industria automotriz 16
1.4 Unidad de control de motor (ECU). 16
1.5 El Sistema de refrigeración 18
1.6 Componentes del sistema de refrigeración: 18
1.6.1 Refrigerante 18
1.6.2 Sensor de temperatura 19
1.6.3 Termostato (Válvula de seguridad): 20
1.6.4 Electro ventilador: 21
1.6.5 Mangueras y flexibles: 21
1.6.6 ECU (Engine Control Unit): 22
1.6.7 Empaquetadura de culata 22
1.6.8 Sellos de agua 23
1.6.9 Radiador 23
1.6.10 Depósito de expansión 24
1.6.11 Enfriador de aceite 24
1.6.12 Bomba de agua 25
Capitulo 2 Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMEF) 26
2.1 Historia 27

2.2 Clasificación del AMEF 28
2.2.1 Productos 28
2.2.2 Procesos 28
2.2.3 Sistemas 28
2.2.4 Otros 29
2.3 OBJETIVOS PRINCIPALES DEL AMEF 29
2.4 VENTAJAS POTENCIALES 30
2.5 IMPLEMENTACION DE LA HERRAMIENTA 31
2.6 APLICACIONES AMEF 31
2.7 Aplicación dentro de un proyecto 32
2.8 Aplicación a un proceso. 33
2.9 BENEFICIOS DEL AMEF 33
CAPITULO 3 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN 35
3.1 Los fallos del sistema de refrigeración 36
3.1.1 Fuga de refrigerante 36
3.1.2 Consumo de refrigerante 37
3.1.3 Exceso de temperatura 38
3.2 Tablas de clasificación del AMEF 39
3.3 Análisis de modos de fallo en un motor a combustión interna 42
3.4 Conclusiones del AMEF 44
3.4.1 Componentes menos críticos del sistema de enfriamiento 44
3.4.2 Componentes altamente críticos del sistema de enfriamiento 45
3.5 Planteamiento del problema 45
3.6 Antecedentes del vehículo 46
3.7 Pericias de técnicos mecánicos en servicio. 46
3.8 Grafico de Pareto respecto a las causas de fallo del AMEF 47
3.8.1 Grafico de Pareto 47
CAPITULO 4 PAUTA DE MANTENIMIENTO Y COSTOS EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO 50
4.1 Plan de mantenimiento por kilometraje 51

4.2 Explicación plan de mantenimiento 52

4.3 Beneficios de seguir el plan de mantenimiento por kilometraje 53

4.4 Costos de reparación 53

4.5 Costo total del modo de fallo del automóvil volvo v40 54

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 56

INDICE DE GRAFICOS

Diagrama Pareto NPR 48
Pareto Ley 80/20 48

INDICE DE TABLAS

Severidad 39
Ocurrencia 40
Detectibilidad 41
AMEF 44
Plan de mantenimiento preventivo 52
Tabla de costos 55

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz, una de las más grandes del mundo ha tenido un alcance fenomenal desde su creación hasta años actuales, no solo en aumento del mercado y producción, sino que además, en la seguridad, mantenimiento y mejora continua en cuanto a nuevas tecnologías.

En el presente trabajo de título, se entregará información acerca de un sistema de refrigeración y su comportamiento en la mecánica general. Se analizará el sistema como tal y además lograremos abarcar subsistemas, que nos permitan estudiar a fondo, comportamientos deseados y no deseados que siempre suceden en algún periodo de la vida útil del activo.

Un sistema de refrigeración, es un sistema que permite controlar la temperatura de algún activo en funcionamiento, además, de ser el encargado de proteger y aumentar la vida útil de ciertos sistemas que no permitan un exceso de temperatura, además, realiza transferencias de calor con algún fin industrial en equipos o simplemente por confortabilidad de alguna necesidad aparente de un agente externo como lo son los climatizadores.

En la vida cotidiana, nos enfrentamos casualmente a sistemas de refrigeración, que probablemente pasamos por alto en la rutina, como lo es el refrigerador de una casa, apartamento, sistemas de aire acondicionados, etc. No obstante, en la industria o mecánica general de equipos, es un tema bastante crítico a la hora de referirse a un activo que genere utilidad en una empresa o bien un servicio funcional que se esté llevando a cabo.

En el presente informe nos enfocaremos principalmente en nuestro título del trabajo, que es, un sistema de refrigeración aplicado a los vehículos motorizados. Además de centrarnos en el sistema y conocerlo de manera teórica, también lo haremos de manera práctica y técnica, vale decir, generar diversas fuentes de información, dividirlo en subsistemas, explicar cada función de los componentes. Riesgos, equipos críticos, modos de falla, etc. Plan de mantenimiento preventivo, el proceso de un mantenimiento correctivo, proceso para aumentar la vida útil del sistema de refrigeración, aumentar el MTBF y disminuir el MTTR con diversas estrategias de mantenimiento detallados brevemente que nos permitirán abarcar toda la información posible y tener una mejora continua en los trabajos técnicos que se realicen posteriormente de nuestro plan.

Un sistema de refrigeración de un automóvil, es un sistema crítico, ya que posee elementos que fácilmente se dañan o disminuyen su vida útil por un déficit en mantenimiento preventivo. No obstante, la calidad de los materiales del cual están hechos, se ve directamente relacionada con algún modo de falla. Como por ejemplo, los vehículos de procedencia china, que su acero de construcción en la industria automotriz, son deficientes en cuanto a fatigas y tolerancia de temperatura. Cumplen normas bajas en cuanto a confiabilidad.

La temperatura, se ve aumentada proporcionalmente con la presión, por norma de la física mecánica. Este sistema de cañerías de acero, plásticos o aluminio, dependiendo el fabricante del automóvil. Están compuestas por Orrings, sellos de goma, flangues pequeños en cañerías torqueados técnicamente, para que solamente en algún mantenimiento correctivo se repare la falla.

En estricto rigor, hay equipos que deben ser revisados con anterioridad, generalmente no se hace, debido al costo de obra de mano que genera este mantenimiento, aunque, siempre se deben realizar procedimientos técnicos y como mantenimiento reemplazar algunos componentes aprovechando el costo de obra de mano, para asegurar un buen funcionamiento del vehículo y disminuir claramente el MTBF si es que ocurre un evento no deseado correctivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Estudiar y analizar el sistema de refrigeración de un motor a combustión interna, y elaborar un estudio técnico acerca de los modos y efectos de fallo que se presentan en el equipo para su posterior reparación, con el fin de establecer un plan de mantenimiento, para disminuir los costos en el tiempo, aumentar la vida útil y confiabilidad del sistema.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Estudiar y conocer el sistema de refrigeración del automóvil.
- Identificar las funciones y objetivos de cada componente estudiado.
- Definir y estudiar el AMFE, además, analizar los modos de fallo del sistema de refrigeración y jerarquizar según la criticidad de sus componentes, según el NPR (numero prioritario de riesgo.)
- Describir procedimientos técnicos de mantención utilizado en el modo de fallo descrito del sistema de refrigeración.
- Crear un plan de mantenimiento del sistema de enfriamiento con el fin de obtener una mayor confiabilidad y eficiencia en el motor a combustión interna.

CAPITULO 1: MARCO TEORICO

1.1 INDUSTRIA AUTOMOTRIZ:

La industria automotriz, dio sus inicios en la década de 1890 es un sistema el cual contiene diversos subsistemas, compañías y organizaciones que promueven las áreas de diseño, desarrollo, manufactura, marketing y ventas de automóviles. Comienza con lo que es la cadena de valor, suministro, creación de modelos de automóviles y los encargados de la organización del sistema jerárquico. Además del desmontaje y montaje de motores a combustión interna para su dicho lanzamiento al mercado automotriz.

1 Industria automotriz

1.1.1 Seguridad en la industria

En la industria automotriz la seguridad significa que los usuarios no tengan que enfrentar ningún riesgo o peligro de parte del vehículo. La seguridad en la industria automotriz es muy importante, y por lo tanto está sujeta a numerosas regulaciones. Los automóviles y otros vehículos impulsados por motor a combustión tienen que cumplir con una serie de normas y reglas, tanto locales como internacionales, para ser aceptados en el mercado y por competencias de marcas en confiabilidad.

1.2 MOTOR A COMBUSTIÓN INTERNA:

El motor a combustión interna, es un sistema que mediante la compresión hermética dentro de un cilindro, provoca una detonación de energía, dicha fuerza generada posteriormente será transmitida, para realizar una función requerida. Vale decir,

transmisión de movimiento, elementos de carga, generadores eléctricos, vehículos de transporte, etc.

El sistema de motor como tal, contiene diversos subsistemas que mediante procesos físicos, y funciones específicas, cumplen un objetivo. No obstante, cada sistema de proceso debe ser analizado predictivamente para estar al tanto a eventos deseados y no deseados. Para ello, existen sensores y actuadores que mediante redes electrónicas, son comandados por la computadora, a través de la unidad de control de motor.

1.3 EL MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

1.3.1 El mantenimiento:

El mantenimiento es el proceso que se lleva a cabo para que un elemento, o unidad de producción, pueda continuar funcionando a un rendimiento óptimo, la realización de un correcto mantenimiento es necesario en todas las actividades económicas, además de que exige una serie de costos por parte de la organización.

Mantenimiento preventivo: Tiene el propósito de mantener el activo en excelentes condiciones de trabajo para poder producir, alargando la vida útil lo más posibles, realizando procedimientos técnicos de reemplazo o mantenimiento de componentes para una mayor eficiencia final.

El mantenimiento correctivo: es un procedimiento de mantenimiento no programado que se realiza luego de que un equipo se detenga y no logre el objetivo de un activo productivo, conocido como falla. En conclusión, permite identificar fallas en el equipo y repararlas.

2 Mantenimiento

1.3.2 En la industria automotriz

El mantenimiento en el rubro automotriz se basa en planes de mantenimientos por kilometraje según el fabricante de la marca y modelo de nuestro motor, debido a que los materiales y tratamientos térmicos no son idénticos entre la diversidad de vehículos.

No obstante, lo que más se ve involucrado en la industria automotriz, es el mantenimiento correctivo o mantenimiento a la falla según los antecedentes de los servicios técnicos del mundo.

Los ingenieros se dedican a minimizar costos de mantenimiento en los servicios técnicos que preste el taller, con el fin de lograr una mayor utilidad final anual en la empresa.

1.4 UNIDAD DE CONTROL DE MOTOR (ECU).

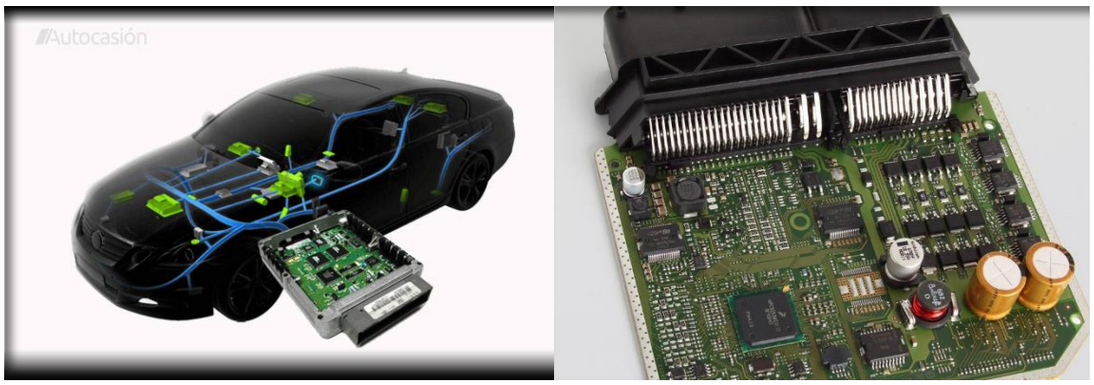
La ECU como componente, es una placa de cobre con múltiples celdas y transmisores electrónicos que permiten a través de corrientes eléctricas la comunicación de los condensadores dentro de una placa de cobre con diversos componentes electrónicos.

Origen del concepto ECU Automotriz Funcionamiento.

Para entender por qué se hizo necesario incorporar computadoras a los vehículos, es necesario remontarse a mediados de los años 70´s y principios de los 80´s, cuando se empieza a tener en cuenta la medición de emisiones contaminantes vehiculares. Esto conlleva a incorporar componentes, que permitan regular de manera eficiente la mezcla aire – combustible en los motores de combustión interna. En un principio estas computadoras automotrices o Ecu Automotriz, solo venían con unos datos pre grabados en una memoria, y realizaban comandos básicos analógicos. Cabe resaltar que estos desarrollos vienen de tecnologías militares principalmente, que fueron incorporadas en la industria aeronáutica.

La ECU administra diversos aspectos en la operación del motor a combustión interna. Las unidades de control de motor más simples solo controlan la cantidad de combustible que es inyectado en cada cilindro de acuerdo a cada ciclo del motor. Las más avanzadas como lo son en la actualidad, controlan el punto de ignición, el tiempo de apertura y cierre de

válvulas, el nivel de impulso mantenido por el turbocompresor, y control de otros periféricos predictivos, como la presión y la temperatura en sistemas de fluidos.

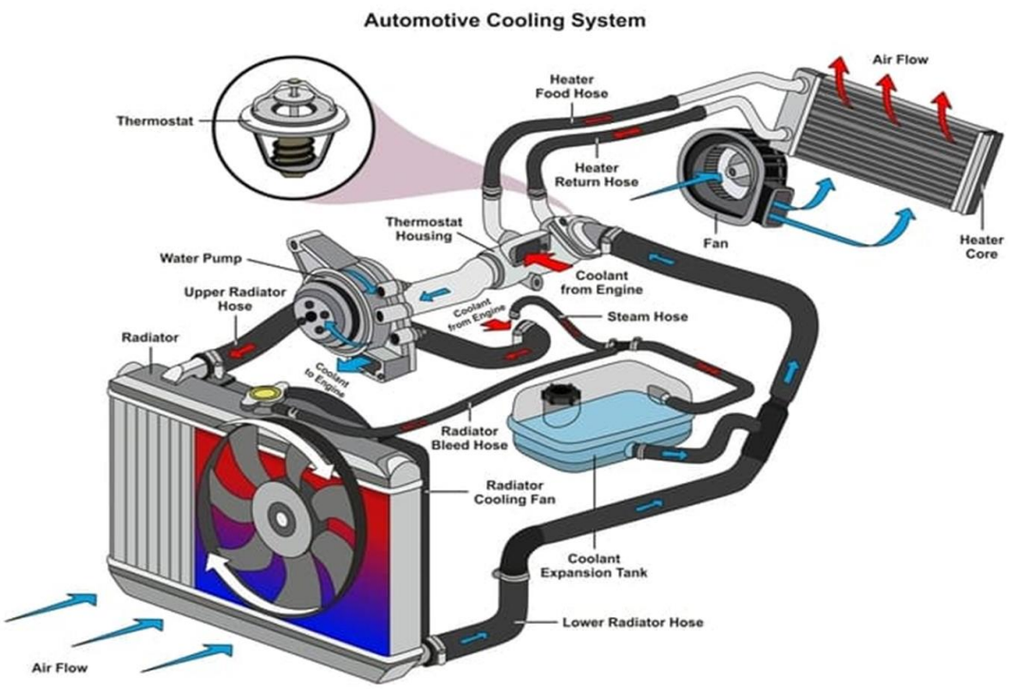


3 EC

1.5 EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El sistema de refrigeración, es el responsable de mantener en óptimas condiciones la temperatura de trabajo de un motor a combustión interna, previniendo que se eleve la temperatura y en consecuencia produzca algún modo de fallo. La ECU, es la responsable de verificar que los parámetros del sistema de refrigeración se encuentren en condiciones de trabajo, mediante el sensor de temperatura y la computadora del sistema electrónico del motor, los cuales, analiza continuamente la temperatura del refrigerante que circula por los conductos del motor.

Normalmente un sistema de enfriamiento de un motor a combustión interna trabaja a una temperatura alrededor de los 100°C a 130°C dependiendo el fabricante, que alcanzan por lo demás presiones cercanas a (1,0-1,5 Bar).



4 Sistema de refrigeración

1.6 COMPONENTES DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN:

1.6.1 Refrigerante

El refrigerante, es el fluido que circula por el motor a combustión interna, cañerías, y sistema de enfriamiento. Que tiene el objetivo de mantener la temperatura de trabajo del

motor en condiciones que le permitan funcionar de la manera más eficiente, según las normas de cada anticongelante o por lo que determine el fabricante.

Los refrigerantes tienen diversos aditivos que dependiendo de la zona climática donde se encuentren o la calidad de sus propiedades, se escogen para cada tipo de vehículo. Por ejemplo, en los sectores de baja temperatura, en donde puede llegar a menos 0°C, se debe contar con un refrigerante anticongelante, vale decir, que soporte trabajar incluso hasta los -30°C con el objetivo de no congelar el sistema y tener una ruptura de sellos de agua no deseada.

5 Refrigerante

1.6.2 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura, es el encargado de monitorear y entregar dicha información a la ECU, la temperatura actual del refrigerante, para que posteriormente, ésta, decida cuanta gasolina inyectar o cuanto avance del encendido proporcionar para lograr llegar lo más pronto posible a la temperatura de trabajo de funcionamiento. Otra función importante que tiene el sensor, es transmitir a la computadora la señal de temperatura, para que ella decida si es necesario activar el electro ventilador de encontrarse en exceso de temperatura el refrigerante.

6 Sensor de temperatura

1.6.3 Termostato (Válvula de seguridad):

El termostato o válvula de seguridad de presión, es un elemento mecánico que actúa en función de la temperatura recibida. En éste caso, en el sistema de refrigeración, es un elemento de sacrificio y componente crítico del sistema, ya que, es el encargado de controlar la temperatura de trabajo constantemente del motor a combustión interna, vale decir, si el vehículo se encuentra en frio, la válvula de seguridad permanecerá cerrada, con el fin de lograr obtener rápidamente la temperatura ideal de funcionamiento. No obstante, cuando el sistema de motor ya se encuentra en trabajo, y en consecuencia el aumento de la presión, el termostato se abre completamente, dejando fluir y liberando el refrigerante al radiador, el cual es el encargado de refrigerar el fluido, para mecánicamente regular la temperatura y no obtener valores de presiones por encima de lo deseado.

7 Termostato (Válvula de seguridad)

1.6.4 Electro ventilador:

El electro ventilador, constituido por un aspa de tamaño considerable frente al motor, que por medio del funcionamiento de un electro embrague giratorio, el cual es activado por medio de la computadora, cumple la función preventiva de activarse en caso de que la temperatura del motor esté muy por encima de la adecuada y el termostato (válvula de seguridad del fluido) no sea suficiente para refrigerar, o simplemente no se abra.

8 Electro ventilador

1.6.5 Mangueras y flexibles:

Permiten el desplazamiento del flujo de refrigerante, con el objetivo de distribuir de tal manera que se produzca una presión controlada continua en el sistema hermético.

9 Mangueras y flexibles

1.6.6 ECU (Engine Control Unit):

Unidad de control del motor, es la computadora del sistema principal del motor a combustión interna, es la encargada de monitorear, manifestar y controlar cada proceso que suceda constantemente, por medio de los sensores y actuadores. Y, en paralelo al sistema mecánico de funcionamiento del vehículo.

En este caso, la ECU en el sistema de refrigeración, trabaja paralelamente con el sensor de temperatura, el panel de instrumentos del vehículo y el circuito eléctrico del electro ventilador. Su función en el sistema de refrigeración, es detectar la señal de temperatura del refrigerante y enviar información a base de señal al electro ventilador para éste activarse.

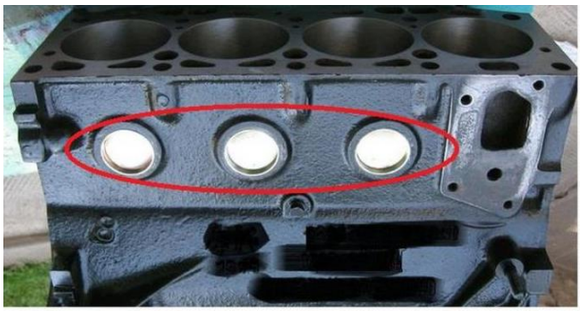
1.6.7 Empaquetadura de culata

La empaquetadura de culata es la división del motor, Culata y block. Es el componente más crítico del sistema de refrigeración, ya que, su función principal, es mantener los cilindros del motor a combustión interna perfectamente herméticos. Vale decir, controla que no se transfiera la compresión interna del motor al sistema de refrigeración, y además, mantiene el sistema de lubricación separado del sistema de enfriamiento, ya que, por el block y culata, existe desplazamiento de fluidos de refrigeración y de lubricación.

10 Empaquetadura de culata

1.6.8 Sellos de agua

Los sellos de agua, son elementos de seguridad del sistema de refrigeración, se componen de aluminio generalmente, y van alojados en la culata y block del motor. No obstante, su objetivo primordial se basa en el principio del clima. Los ingenieros automotrices dedicados específicamente a la industria de creación de motores, antiguamente se percataron que el agua (utilizado como refrigerante), se tendía a congelar en climas muy fríos, lo que es bastante lógico el crear un plan de control de riesgo, y así un sistema que sea eficiente y a la vez mantenible en el tiempo.



11 Sellos de agua

1.6.9 Radiador

El radiador del vehículo, es un intercambiador de calor que contiene en su interior diversas celdas que permite la circulación del refrigerante de manera que se enfrente a la corriente del viento proveniente de la velocidad del automóvil o bien del electro ventilador cuando se active.

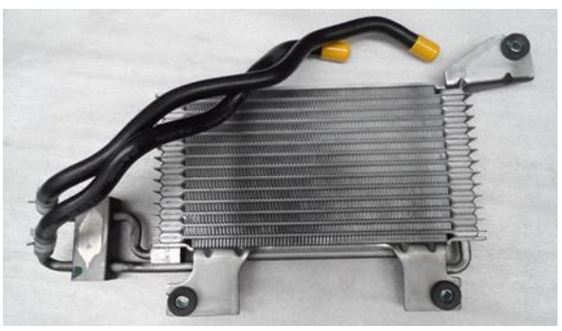
1.6.10 Depósito de expansión

El depósito de expansión, es un componente normalmente de plástico o fibra, que contiene en su interior reserva de refrigerante que será posteriormente utilizado para ir poco a poco llegando a nivel si el vehículo contiene perdida del mismo. Además, es aquel que recibe la sobrepresión de la tapa del radiador cuando la presión de la tapa llega a su máxima.

12 Deposito de expansión

1.6.11 Enfriador de aceite

El enfriador de aceite, es un intercambiador de calor utilizado normalmente para controlar la temperatura de los fluidos de los componentes internos del motor, como por ejemplo, el aceite de transmisión, aceite de motor, etc. Dentro de él circula refrigerante del motor que es usado para controlar la temperatura.



13 Enfriador de aceite

1.6.12 Bomba de agua

La bomba de agua, es un componente importante para el control de la temperatura del motor, ya que su función principal es la creación de caudal de refrigerante dentro del motor mediante un rodamiento interno que gira a las revoluciones del motor.

14 Bomba de agua

CAPITULO 2 ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMEF)

AMEF: Conocido también actualmente en la ingeniería de confiabilidad, como Análisis de modo, efecto de fallas y criticidad (FMECA). Por su último parámetro de estudio en el mantenimiento, el cual es la criticidad.

El análisis de modo y efectos de falla en la ingeniería, estudia la metodología que se utiliza para estimar y predecir los fallos que pueden suceder en un producto o componente que se encuentra en fase de diseño o en proceso de una cadena de diversas funciones dentro de un sistema. El fin de estudiar los modos de fallo de la matriz AMFE es obtener números reales respecto a evaluación de fallos, para posteriormente enfrentar los parámetros en el mantenimiento, ofreciendo planes preventivos, diversos KPI para disminuir el NPR (Numero prioritario de riesgo) de un componente sistema o subsistema que tenga una función requerida.

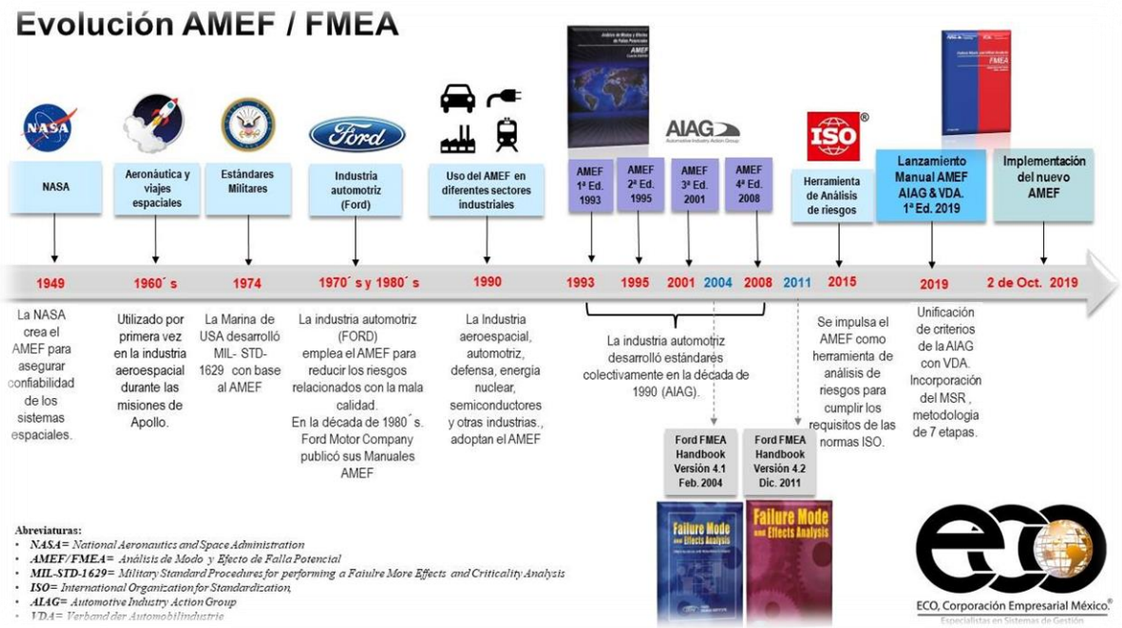
2.1 HISTORIA

A mediados de la década del 1940, el ejército de Estados Unidos por primera vez realizó un estudio profundo de las fallas en las municiones fabricadas. Notaron que muchas de las municiones cargadas no se percataron, lo que creo confusión y frustración en los soldados del ejército, ya que, técnicamente la confiabilidad del sistema de tiros era bastante baja, lo que por consecuencia, en una guerra real terminaría con muchas vidas de la tropa gringa.

Luego la Nasa, en sus estudios de proyectos espaciales, forjó el estudio anteriormente realizado por el ejército de EE.UU, creando la metodología de evaluación y llevada a los números por primera vez en la fabricación y eficiencia de sus cohetes, llamado AMEF (Análisis de modo y efecto de falla).

El AMEF es un estudio que la Industria automotriz lidera, partiendo por Ford Motor Company quien lo usó en la década del 1970 con el fin de aumentar la confiabilidad en seguridad y relaciones públicas, en la cadena de procesos de la fábrica de vehículos motorizados.

Actualmente el AMEF ha sido enormemente analizado, clasificado y mejorado. Incluso se le agregó el análisis de criticidad con la idea de crear una plantilla general para las industrias. En cuanto a procesos y componentes de los sistemas.



15 Evolucion del amef

2.2 CLASIFICACIÓN DEL AMEF

2.2.1 Productos

El AMEF aplicado a un producto sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos e impactos que pueden llegar a tener en el usuario o en el proceso de producción del prototipo final.

2.2.2 Procesos

El AMEF aplicado a los procesos sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en las etapas de producción, analiza los momentos de cambio de cada proceso de alguna cadena de suministro o elaboración de un producto y los componentes que trabajan en él, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que puedan llegar a tener en el usuario o en etapas posteriores de cada proceso.

2.2.3 Sistemas

El AMEF aplicado a sistemas sirve como herramienta predictiva para detectar y controlar las fallas que puedan tener los componentes de un sistema y disminuir las fallas

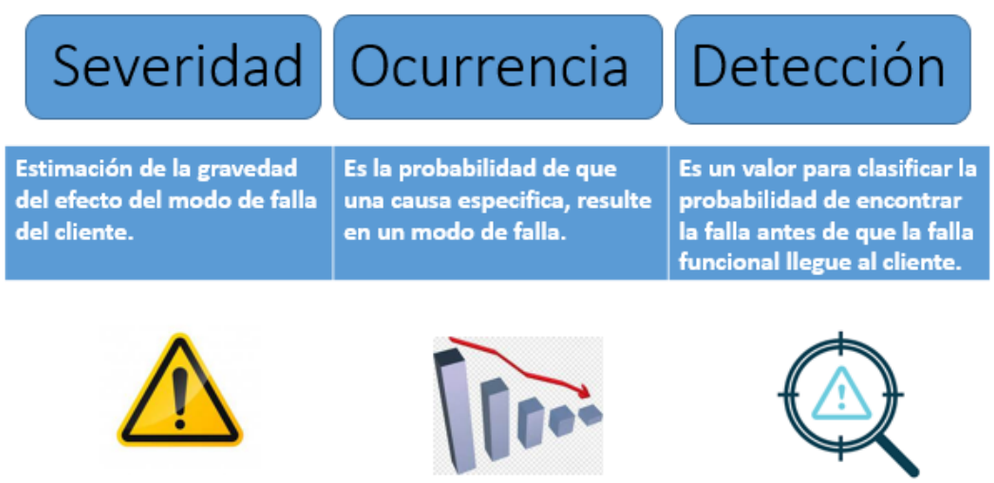
potenciales y/o funcionales de un proceso o mecanismo industrial, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en su funcionamiento.

2.2.4 Otros

El AMEF puede aplicarse a cualquier proceso en general en el que se pretendan identificar, clasificar y prevenir fallas mediante el análisis de sus efectos, y cuyas causas deban documentarse.

2.3 OBJETIVOS PRINCIPALES DEL AMEF

1) Identificar los modos de falla potenciales, y calificar la severidad de su efecto.
2) Evaluar objetivamente la ocurrencia de causas y la habilidad de los controles para detectar la causa cuando ocurre.
3) Clasifica el orden potencial de deficiencias de producto y proceso.
4) Se enfoca hacia la prevención y eliminación de problemas del producto y proceso



16 Grados de clasificación

2.4 VENTAJAS POTENCIALES

Este procedimiento de análisis tiene una serie de ventajas potenciales significativas, por ejemplo:

1) Identificar las posibles fallas en un producto, proceso o sistema.

2) Conocer a fondo el producto, el proceso o el sistema.

3) Identificar los efectos que puede generar cada falla posible.

4) Evaluar el nivel de criticidad (gravedad) de los efectos.

5) Identificar las causas posibles de las fallas.

6) Establecer niveles de confiabilidad para la detección de fallas.

7) Evaluar mediante indicadores específicos la relación entre: gravedad, ocurrencia y defectibilidad.

8) Documentar los planes de acción para minimizar los riesgos.

9) Identificar oportunidades de mejora.

10) Generar Know-how.

11) Considerar la información del AMEF como recurso de capacitación en los procesos.

2.5 IMPLEMENTACION DE LA HERRAMIENTA

El AMEF es un procedimiento que enriquece a las organizaciones, de manera que considerar implementarlo no requiere de condiciones específicas de las operaciones. Sin embargo, pueden detectarse situaciones en los cuales el AMEF es una herramienta vital de soporte, por ejemplo:

- Al diseñar un nuevo producto o servicio
- Cuando se rediseñar o implementar nuevos procesos de producción
- Durante el establecimiento de los mantenimientos preventivos
- Si se determina que un proceso es complicado de llevar a cabo
- En los procesos administrativos y de documentación
- Al recabar información del producto o servicio
- Cuando el cliente exija una mejora (siendo este más un proceso correctivo que preventivo)

2.6 APLICACIONES AMEF

El AMFE es un método que se adapta principalmente al estudio de fallos de materiales y equipos y que puede aplicarse a categorías de sistemas basadas en diferentes tecnologías (eléctrica, mecánica, hidráulica, etc.) y combinaciones de las mismas o puede ser específico para piezas particulares del equipo, para sistemas o para proyectos en conjunto.

El AMFE también debería incluir consideraciones del software y de las actuaciones humanas cuando sean relevantes para la confiabilidad del sistema. Un AMFE puede ser un estudio de aplicación general para estudiar varios procesos (médico, laboratorio, fabricación, desarrollo, educacional, etc.) que normalmente toma el nombre de AMFE de Proceso o AMFEP. Cuando se realiza un AMFE de proceso, siempre se hace atendiendo a la meta final o al objetivo de un proceso y entonces considera cada paso dentro de ese proceso como un elemento potencial que puede producir un resultado desfavorable para los otros pasos en el proceso o para el objetivo final del mismo.

2.7 APLICACIÓN DENTRO DE UN PROYECTO

El usuario debería determinar cómo y para qué se utiliza el AMFE dentro de su propia disciplina técnica. Puede usarse de forma exclusiva o para complementar y apoyar otros métodos de análisis de fiabilidad. Los requisitos para el AMFE se originan en la necesidad de entender el comportamiento del hardware y sus implicaciones para la operación del sistema o equipo. La necesidad del AMFE puede variar ampliamente de un proyecto a otro.

El AMFE da soporte a la revisión de diseño y debería iniciarse lo más pronto posible en el periodo de diseño del sistema y del subsistema. El AMFE es aplicable a todos los niveles de diseño del sistema, pero es más apropiado para niveles más bajos dónde está implicado un mayor número de elementos o la funcionalidad es compleja. Es esencial la formación especial del personal que realiza AMFE y debe haber una colaboración estrecha con los ingenieros y diseñadores del sistema. El AMFE debería actualizarse a medida que progresa el proyecto y se modifican los diseños. Al final del proyecto, el AMFE se utiliza para verificar el diseño y puede ser esencial para la demostración de conformidad de un sistema diseñado conforme a las normas, reglamentos y requisitos de usuario requeridos.

La información proporcionada por el AMFE identifica las prioridades para el control estadístico del proceso, muestreo y pruebas de inspección durante la fabricación e instalación y para las pruebas de calificación, aprobación, aceptación y puesta en marcha. Proporciona información esencial para los procedimientos de diagnóstico y mantenimiento que se incluyen en los manuales.

Para tomar una decisión de la magnitud y la forma en la que debería aplicarse el AMFE a un elemento o diseño, es importante considerar los objetivos específicos para los que se necesitan sus resultados, la sincronización con otras actividades y la importancia de establecer un grado predeterminado de sensibilidad y control sobre los modos de fallo y efectos no deseados. Esto lleva a la planificación del AMFE en términos cualitativos a niveles especificados (sistema, subsistema, componente, elemento) en relación con el proceso iterativo de diseño y desarrollo.

Para asegurar que es eficaz, debería establecerse claramente el lugar del AMFE en el programa de confiabilidad, junto con el tiempo, la mano de obra y otros recursos necesarios para hacerlo eficaz. Es vital que el AMFE no se abrevie para ahorrar tiempo y dinero. Si el tiempo y el dinero se recortan el AMFE debería concentrarse en las partes del

diseño que son nuevas o se usan de forma novedosa. El AMFE puede dirigirse de forma rentable a áreas identificadas como cruciales por otros métodos de análisis.

2.8 APLICACIÓN A UN PROCESO.

Cuando se prepara para un proceso, la realización del AMFEP requiere lo siguiente: Una definición clara de los objetivos del proceso. Cuando un proceso es complejo, su objetivo puede redefinirse como el objetivo global o el producto del proceso, objetivo o producto de un conjunto de secuencias o pasos del proceso y producto de un paso individual del proceso;

a) Entender los pasos individuales en el proceso;

b) Entender los defectos potenciales en cada paso del proceso;

c) Entender el efecto que cada defecto individual (fallo potencial) puede tener en el producto del proceso;

d) Entender las causas potenciales de cada uno de los defectos o potenciales fallos o averías del proceso.

Si un proceso tiene más de un producto, puede entonces analizarse teniendo en mente el producto específico; esto es, se realiza un AMFEP para productos individuales. El proceso también puede analizarse en términos de sus pasos y los resultados potenciales desfavorables, lo que resultaría en un AMFEP generalizado para el proceso independientemente de los tipos de productos individuales.

2.9 BENEFICIOS DEL AMEF

Algunas de las aplicaciones y beneficios detallados del AMEF son:

a) Evitar modificaciones costosas mediante la temprana identificación de deficiencias de diseño;

b) Identificar fallos que, cuando ocurren solos o en combinación, tengan efectos inaceptables o significativos y para determinar los modos de fallo que pueden afectar seriamente al funcionamiento esperado o requerido; No obstante, tales efectos pueden incluir fallos secundarios.

c) Determinar la necesidad de métodos de diseño para la mejora de la fiabilidad (redundancia, esfuerzos operativos, fallo seguro (sin daño), selección del componente y atenuación de esfuerzos, etc.);

d) Proporcionar el modelo lógico requerido para evaluar la probabilidad o tasa de ocurrencia de condiciones anómalas de operación del sistema en la preparación del análisis de criticidad;

e) Revelar áreas con problemas de seguridad y responsabilidad del producto o el incumplimiento de requisitos reglamentarios;

f) Asegurar que el programa de pruebas de desarrollo puede detectar modos de fallo potenciales;

g) Enfocar las áreas importantes en las que concentrar el control de calidad, inspección y los controles del proceso de fabricación;

h) Ayudar definiendo diferentes aspectos de la programación y de la estrategia general de mantenimiento preventivo;

i) Facilitar o apoyar la determinación de criterios de ensayo, planes de ensayo y procedimientos de diagnóstico, por ejemplo: pruebas de funcionamiento, pruebas de fiabilidad;

j) Apoyar el diseño de secuencias de aislamiento de avería y apoyar la planificación de modos alternativos de funcionamiento y reconfiguración;

k) Proporcionar a los diseñadores una comprensión de los factores que influyen en la fiabilidad del sistema;

l) Proporcionar un documento final que demuestre que (y en qué grado) se ha tenido cuidado para asegurar que el diseño cumplirá su especificación en servicio. (Esto es especialmente importante en el caso de la responsabilidad del producto).

CAPITULO 3 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN EL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Un modo de fallo, es una causa de fallo o dicho de otra manera, las diversas variables que tiene un sistema u equipo de presentar una falla, ya sea funcional o no funcional. Funcional quiere decir que el equipo no puede volver a recuperarse de la falla total del sistema, es por ello, que debe cumplir con un MTTR estipulado por mantenimiento. Por otro lado, una falla que no es funcional, nos dice, que el equipo y sistema puede seguir en funcionamiento mientras exista algún modo de falla en paralelo.

Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten. Mientras más complejo es un sistema, más modos de falla tendrá.

Un sistema de refrigeración es completamente hermético, es por ello, que se debe considerar controlar los parámetros de funcionamiento del sistema, además de una serie de estrategias de mantenimiento, como por ejemplo la inspección periódica en un servicio técnico o mantenimiento preventivo y predictivo enfocado al sistema de refrigeración.

3.1 LOS FALLOS DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

3.1.1 Fuga de refrigerante

Que un motor a combustión interna trabaje con bajo nivel de fluido en el sistema de enfriamiento, significa que no está refrigerando eficientemente, por ende, la temperatura de trabajo comenzará a aumentar, es decir, son inversamente proporcionales, el nivel de refrigerante y la temperatura del motor.

La pérdida de refrigerante en el sistema de enfriamiento proviene de diversos componentes anteriormente nombrados los cuales son:

1- Mangueras y flexibles:

Generalmente comienzan a fugar por un exceso de presión en el sistema, un aumento considerable de temperatura, o bien, la corrosión interna en el material del motor. No obstante, hay casos que simplemente por vida útil de los materiales es donde se produce la ruptura de los componentes.

2- Bomba de agua:

La bomba de agua, de fábrica contiene un agujero entre el rodamiento y la carcasa de la misma, con el fin de despichar el refrigerante por esa zona, cuando el conjunto rodamiento y aspas de la bomba comiencen a desgastarse

3- Empaquetaduras y sellos de agua:

La pérdida de refrigerante por empaquetadura, es netamente por la vida útil y el ciclo de vida del activo en este caso. Y por otro lado, los sellos de culata y block llega un momento del ciclo de vida que no soportan la presión del sistema de refrigeración y comienzan a fugar por los bordes donde aleja el sello de seguridad.

4- Depósito de expansión y su tapa:

Un exceso de temperatura o bien un siniestro del vehículo como tal, puede producir fisuras, agrietamiento o bien el fallo de la tapa del depósito por corrosión o vida útil.

Cabe destacar que las tapas de radiadores y depósitos de expansión, contienen un sistema de liberación de presión, que normalmente dejan escapar presión cuando el sistema de enfriamiento alcanza su presión máxima permitida (MAWP). Vale decir, que si nos encontramos con una tapa corroída o bien con un ciclo de vida cumplido. Normalmente existe aumento de presiones en el sistema que terminan por tener una alta probabilidad de algún modo de fallo.

En los vehículos con depósitos de expansión, ésta presión es liberada desde el radiador hacia esa zona. Y los automóviles que solamente cuentan con radiador, dicha presión se libera hacia la atmosfera.

5- Radiador:

Normalmente un radiador del automóvil no suele agrietarse o causar una ruptura, a menos que tenga un exceso de temperatura y por ende su presión se vea elevada. Aunque se debe aceptar que en un siniestro o golpe, puede verse afectado con facilidad alguna de las cañerías del circuito en serie del radiador.

3.1.2 Consumo de refrigerante

Consumir refrigerante en mecánica automotriz no es similar a la pérdida de refrigerante, ya que una pérdida de refrigerante, se asocia a que el fluido se escapa al exterior del sistema, es decir, a la atmosfera. En cambio, un consumo de refrigerante está asociado a la deficiencia de hermeticidad del sistema de refrigeración, significa que un componente está en modo de fallo y como efecto o consecuencia, se comenzó a consumir líquido del sistema de enfriamiento.

El motor a combustión, puede consumir refrigerante por solamente dos subsistemas, que son los siguientes componentes:

Enfriador de aceite (Intercambiador de calor):

Cuando los sellos internos y las canales térmicas en serie que tiene el intercambiador de calor se deterioran, por alguna causa que puede ser desde vida útil hasta la corrosión, etc. Se produce un modo de fallo un tanto crítico, que es la perdida de hermeticidad entre el líquido refrigerante y el aceite de motor o transmisión en algunos motores.

Empaquetadura de culata:

Cuando falla la empaquetadura de culata, que su causa principal es el exceso de temperatura del motor comienza a deteriorarse por vida útil del material y por un sobrecalentamiento en el motor.

3.1.3 Exceso de temperatura

El exceso de temperatura: Un exceso de temperatura y en paralelo la sobrepresión en un sistema hermético, en donde existe un caudal de fluido constante, es una de las principales causas de un modo de fallo inmediato, ya que, no solo es una causa critica, sino que también, provoca la falla funcional del sistema, lo que por conclusión se dice, que un vehículo, mientras mayor confiable sean los materiales y composición química de los componentes de los equipos encargados de mantener el nivel de temperatura recomendable, mayor confiable será nuestro sistema de refrigeración.

No obstante se debe aclarar que el exceso de temperatura, además de ser una causa de un modo de fallo, que puede llegar a ser funcional en la mayoría de los casos; También es una consecuencia o llamado en ingeniería como el efecto de falla. Esto se explica, ya que una causa menos critica como la es la rotura de una manguera, bajo nivel de refrigerante, sobrepresión, corrosión, válvula de seguridad defectuosa, electro ventilador no activo. Producen el grave efecto de falla que es el exceso de temperatura.

Deformación de la biela del motor a combustión interna:

Es un modo de fallo altamente crítico (lo que produce un modo de fallo funcional y además unos índices muy altos de MTTR para el sistema total del motor.

3.2 TABLAS DE CLASIFICACIÓN DEL AMEF

Severidad

Gravedad	Criterio	Valor
Muy Baja	No es razonable esperar que este fallo de pequeña importancia origine efecto real alguno sobre el rendimiento del sistema. Probablemente, el cliente ni se daría cuenta del fallo.	1
Baja	El tipo de fallo originaria un ligero inconveniente al cliente. Probablemente, éste observara un pequeño deterioro del rendimiento del sistema sin importancia. Es fácilmente subsanable	2-3
Moderada	El fallo produce cierto disgusto e insatisfacción en el cliente. El cliente observará deterioro en el rendimiento del sistema	4-6
Alta	El fallo puede ser crítico y verse inutilizado el sistema. Produce un grado de insatisfacción elevado.	7-8
Muy Alta	Modalidad de fallo potencial muy crítico que afecta el funcionamiento de seguridad del producto o proceso y/o involucra seriamente el incumplimiento de normas reglamentarias. Si tales incumplimientos son graves corresponde un 10	9-10

Tabla 1 Severidad

Ocurrencia

Frecuencia	Criterio	Valor
Muy Baja	Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	1
Baja	Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda.	2-3
Moderada	Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	4-5
Alta	El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado en procesos similares o previos procesos que han fallado.	6-8
Muy Alta	Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente	9-10

Tabla 2 Ocurrencia

Detección

Detectabilidad	Criterio	Valor
Muy Alta	El defecto es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1
Alta	El defecto, aunque es obvio y fácilmente detectable, podría en alguna ocasión escapar a un primer control, aunque sería detectado con toda seguridad posteriormente.	2-3
Mediana	El defecto es detectable y posiblemente no llegue al cliente. Posiblemente se detecte en los últimos estadios de producción	4-6
Pequeña	El defecto es de tal naturaleza que resulta difícil detectarlo con los procedimientos establecidos hasta el momento.	7-8
Improbable	El defecto no puede detectarse. Casi seguro que lo percibirá el cliente al final	9-10

Tabla 3 Detectibilidad

3.3 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLO EN UN MOTOR A COMBUSTIÓN INTERNA

Un sistema de refrigeración es un sistema crítico, que requiere énfasis en el mantenimiento preventivo, y ser previamente analizado, ya que, el objetivo principal en este caso, es evitar la falla funcional del equipo. Cabe destacar que una falla en el sistema de refrigeración puede también ser evaluada según el NPR (Numero prioritario de riesgo), con el fin de implementar un plan de mantenimiento adecuado preventivo, enfocándose en el aumento de vida útil y la disminución de la probabilidad de falla.

A continuación se mostrarán las tablas del AMEF orientado a los componentes del sistema de refrigeración, que posteriormente serán analizados y evaluados en escala de severidad, ocurrencia y detección. Que por lo demás obtendremos el NPR final para nuestras conclusiones del impacto que imparte el mantenimiento en este sistema crítico

Componente	Función	Fallo Funcional	Modo de falla	Efecto de la falla	Causas del fallo	Severidad	Ocurrencia	Deteccion	NPR
			Fuga refrigerante	Aumento de temperatura del motor	Manguera rota o abrazedera defectuosa	3	5	2	30
Mangueras y flexibles	Distribuir el suministro de enfriamiento hacia el motor	Perdida de fluido y problemas de presion	Tapa del radiador obstruida	Deterioro en los componentes internos del sistema	Presencia de agua potable en el sistema de refrigeracion	8	9	3	216
			Radiador obstruido	Sobre presion en el sistema	Corrosion excesiva	9	10	3	270
			Cables cortados	Sin comunicación con la ECU	maniobra de un tecnico mecanico o roedor en el motor	2	2	1	4
Sensor de temperatura	Enviar señal a la Ecu de la temperatura del rerigerante	Falser la temperatura o bien error de comunicacion	Corrosión en el sensor	Mayor consumo de combustible					
			recistencia electrica defectuosa	Datos falseados y descontrol en electroventilador	Sobrecalentamiento del sensor por un corto circuito	3	3	2	18

Termostato (Valvula de seguridad)	Permitir, el paso del fluido hacia el radiador	Sistema de enfriamiento obstruido	Exceso de corrosión	Aumento de presion en el sistema	No reemplazar el refrigerante	**7**	**6**	**2**	**84**
			Colapso de los resortes Presion positiva en el sistema de enfriamiento	Aumento considerable en la temperatura del motor	Perdida de hermeticidad en el sistema de enfriamiento	**9**	**7**	**9**	**567**
Bomba de agua	Crear el caudal dentro del sistema de enfriamiento del motor	Deterioro o perdida de las aspas del rodamiento de la bomba	La Corrosion en el sistema	Baja eficiencia en el control de temperatura					
			Desgaste de rodamiento	Fuga de refrigerante por la bomba Vibracion del rodamiento	Deficiencia en control de mantenimiento y vida util	**3**	**7**	**4**	**84**
Acero, Aluminio Block, Culata	Material del motor, cañerias y sellos.	Fatiga de material, deformacion. colapso,	Corrosion en el sistema	Obstruccion al caudal de refrigeracion	Presencia de oxigeno en el material	**7**	**7**	**9**	**441**
			Block y/o culata flectada	Perdida de hermeticidad del motor y sistema de enfriamiento	Aumento excesivo de temperatura	**8**	**10**	**7**	**560**
			Desprendimiento de empaquetadura	Deformacion en los materiales de culata y block	Temperatura de la empaquetaduar fuera de rango maximo	**8**	**10**	**7**	**560**
			Presencia de agua potable como refrigerante	Corrosion total en el sistema	Minerales del agua dentro del acero/aluminio	**8**	**9**	**8**	**576**
Empaquetadura de culata	Mantener la hermeticidad de la compresion de la camara de combustion del motor, el sistema de refrigeracion y lubricacion	Colapso, rotura y/o deformacion de la empaquetadura	Compresion maxima maxima superada	Colapso de pernos de culata	Mayor presion en la mezcla de aire/combustible en la camara de combustion	**7**	**8**	**9**	**504**
			Mezcla de agua combustible y aire	Biela flectada	Agua dentro de la camara de combustion	**10**	**10**	**8**	**800**
			Termostato obstruido	Rotura o quiebre de empaquetadura por aumento de presion	Resorte trabado	**8**	**9**	**10**	**720**

Electro ventilador	Lograr el enfriamiento del motor rapidamente a través del flujo de aire	Detencion total del movimiento de las aspas del electroventilador	No se recibe señal de la ECU	Alta probabilidad de un aumento repentino de temperatura del motor	Sensor de temperatura en corte	**4**	**6**	**2**	**48**
			Solenoide de electro ventilador trabado		Resortes vencidos del solenoide	**6**	**4**	**2**	**48**
Radiador	Intercambiador de calor a traves de cañerias interiores que facilitan el proceso de enfriamiento	Ausencia de enfriamiento en el fluido refrigerante	Colapso y/o rotura en el material	Fuga de refrigerante	Presion maxima permitida en cañerias	**3**	**5**	**4**	**60**
			Obstruccion del caudal en la entrada o salida del radiador	Aumento de temperatura del motor	Exceso de corrosion en radiador	**9**	**9**	**8**	**648**
			Corrosion interna	Aumento de presion					
Deposito de expansion	Mantener a nivel maximo el refrigerante del motor y recibir la sobre presion del sistema	Rotura del deposito	Fatiga de material	Fuga de refrigerante	Temperatura del plastico excesiva	**2**	**3**	**7**	**42**
Enfriador de aceite	Mantener el lubricante de motor y/o transmision en efectivas temperaturas	Perdida de hermeticidad	Mezcla de lubricante y refrigerante	Motor trabajando con mezcla de fluidos en sus componentes internos	Orring y sellos del enfriador desgastados	**9**	**9**	**10**	**810**

Tabla 4 AMEF

3.4 CONCLUSIONES DEL AMEF

Como podemos observar en las tablas, en los cuadros de color ROJO, tenemos el NPR (Numero prioritario de riesgo), que equivale al producto de los números del cuadro color AMARILLO, vale decir (S x O x D) Severidad, Ocurrencia y Detectibilidad.

No obstante, nuestro NPR en conclusión, nos dice un valor numérico cuantitativo, representando el riesgo que existe en un equipo dentro de un sistema, en este caso, un componente que cumple una función requerida dentro del sistema de refrigeración, que tan crítico puede ser una falla respecto a la inasistencia del respectivo componente.

3.4.1 Componentes menos críticos del sistema de enfriamiento

1) Sensor de temperatura: No es un componente critico según el AMEF, y si lo corroboramos técnicamente, tampoco lo es, ya que, el sensor de temperatura, solamente comunica con el conductor mostrando el nivel de la temperatura del refrigerante y además comunica con la ECU, para hacer inyectar más o menos combustible, no obstante, este comportamiento no produce una falla grave, ni menos funcional.

2) Mangueras y flexibles: Es bajo en criticidad, ya que, una manguera o flexible del sistema de enfriamiento defectuoso, inmediatamente la temperatura comenzará a subir, ya que la fuga sería evidente.

3) Depósito de expansión: De igual forma, la fuga en el depósito de expansión puede notarse incluso por el cliente, cuando estaciona el vehículo por ejemplo. Y también aumenta la temperatura del motor, Por lo tanto no es un componente crítico.

3.4.2 Componentes altamente críticos del sistema de enfriamiento

1) Empaquetadura de culata: Es un componente crítico en el sistema, ya que, su función principal es mantener la hermeticidad en todos los cilindros del motor, vale decir, que la alta compresión que existe en la cámara de combustión debe ser perfectamente usada la energía para un buen comportamiento del motor. Al no estar hermético el motor, presentará inestabilidad, y hasta la falla funcional interna de una biela del motor por intentar comprimir el refrigerante en la cámara de combustión.

2) Enfriador de aceite: Es un componente también crítico, y es el que se lleva el NPR más elevado del cuadro de análisis de modo y efectos de fallo (AMEF), esto se explica, ya que, su función principal, es, además de enfriar el aceite de motor, de igual forma mantiene hermético el lubricante respecto al refrigerante de motor. Por lo tanto desde el momento que se mezcla el refrigerante de motor con aceite de motor, todos los componentes internos del motor estarán a una baja viscosidad y con peligro de desgaste prematuro o riesgo de causar una fatiga de material, produciéndose una falla total del motor a combustión interna, porque el agua y el aceite no son compuestos que se puedan mezclar.

3.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se analizará para este estudio de análisis, un motor a combustión interna de un vehículo Volvo v40, que contiene en su interior un Ford Ecoboost 1.6 Litros, Turbo alimentado con inyección directa.

3.6 ANTECEDENTES DEL VEHÍCULO.

El cliente nos reporta que hace un tiempo el vehículo le viene consumiendo refrigerante paulatinamente y la temperatura aumenta más de lo normal.

La persona no llevó su vehículo a inspeccionar la anormalidad presente, por lo que decidió seguir rellenando refrigerante de motor y conducir diariamente.

Finalmente el automóvil llegó a taller, ya que le habría ocurrido una falla y el motor se detuvo y no encendía al arrancar.

3.7 PERICIAS DE TÉCNICOS MECÁNICOS EN SERVICIO.

Además de lo analizado en el AMEF anterior, también existen diversas pericias técnicas para verificar la causa y el modo de fallo del sistema de enfriamiento que ocurrió en este caso, como lo son las siguientes.

1) Inspeccionar visualmente las mangueras y flexibles del sistema de enfriamiento, tapas, bomba de agua, abrazaderas, corrosión, etc.
2) Rellenar el depósito refrigerante y radiador y proceder a inspeccionar si la válvula de seguridad abre adecuadamente cuando el motor lo necesita.
3) Verificar sacando la tapa del radiador mientras el motor está encendido para corroborar que no esté la empaquetadura de culata o bien la culata con una pequeña fisura que haga perder la hermeticidad en el sistema de enfriamiento y por consiguiente aumente la temperatura y la presión dentro del sistema.
4) Acelerar el motor para verificar que la bomba de agua también aumente sus revoluciones de trabajo y las aspas entreguen buen caudal.
5) Verificar que no esté obstruido el sistema de calefacción del habitáculo, ya que, nos indicaría que puede haber radiador tapado.
6) Inspeccionar cables y parámetros de resistencia del sensor de temperatura. Y corroborar que el electro ventilador accione.

Según los pasos anteriores, se llegó a una conclusión en este vehículo:

Causa de fallo: **Termostato (Válvula de seguridad).**

Modo de fallo: **Exceso de temperatura.**

Y por el exceso de temperatura, el motor a combustión sufrió una falla funcional grave, que terminó por realizar un trabajo del desmontaje del motor para su posterior reparación de la culata. Que propiamente tal, es de alto costo y tiempo de reparación.

3.8 GRAFICO DE PARETO RESPECTO A LAS CAUSAS DE FALLO DEL AMEF

3.8.1 Grafico de Pareto

Un diagrama de Pareto es un tipo especial de gráfica de barras donde los valores graficados están organizados de mayor a menor.

El grafico de Pareto es un estudio de ingeniería, conocido también por la regla del 80/20, esto es porque finalmente al concluir todos los gráficos de Pareto, se obtiene que el 80% de las consecuencias de una falla en particular, es debido al 20% de las causas. O dicho de otro modo, el 20% de las causas de una falla son responsables del 80% de las consecuencias.

Gracias a esto podemos concluir que si en un sistema u equipo, nos enfocamos en el 20% de las causas de alguna falla que pudiese existir, ya sea realizar mantenimientos o reemplazo de componentes, etc.; o al menos las causas de fallo más críticas, tendríamos como recompensa, que el 80% de las consecuencias de falla la estaríamos previniendo, lo que finalmente en ingeniería se convierte en una mejora en la confiabilidad del sistema.

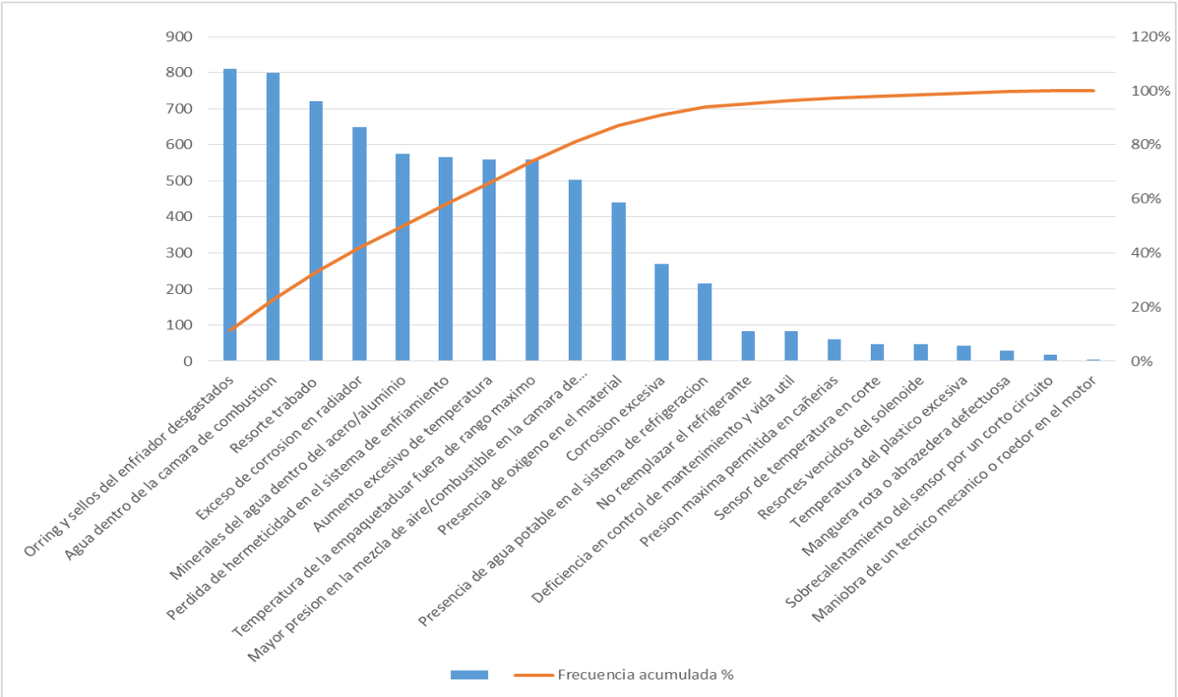


Grafico 1 Diagrama Pareto NPR

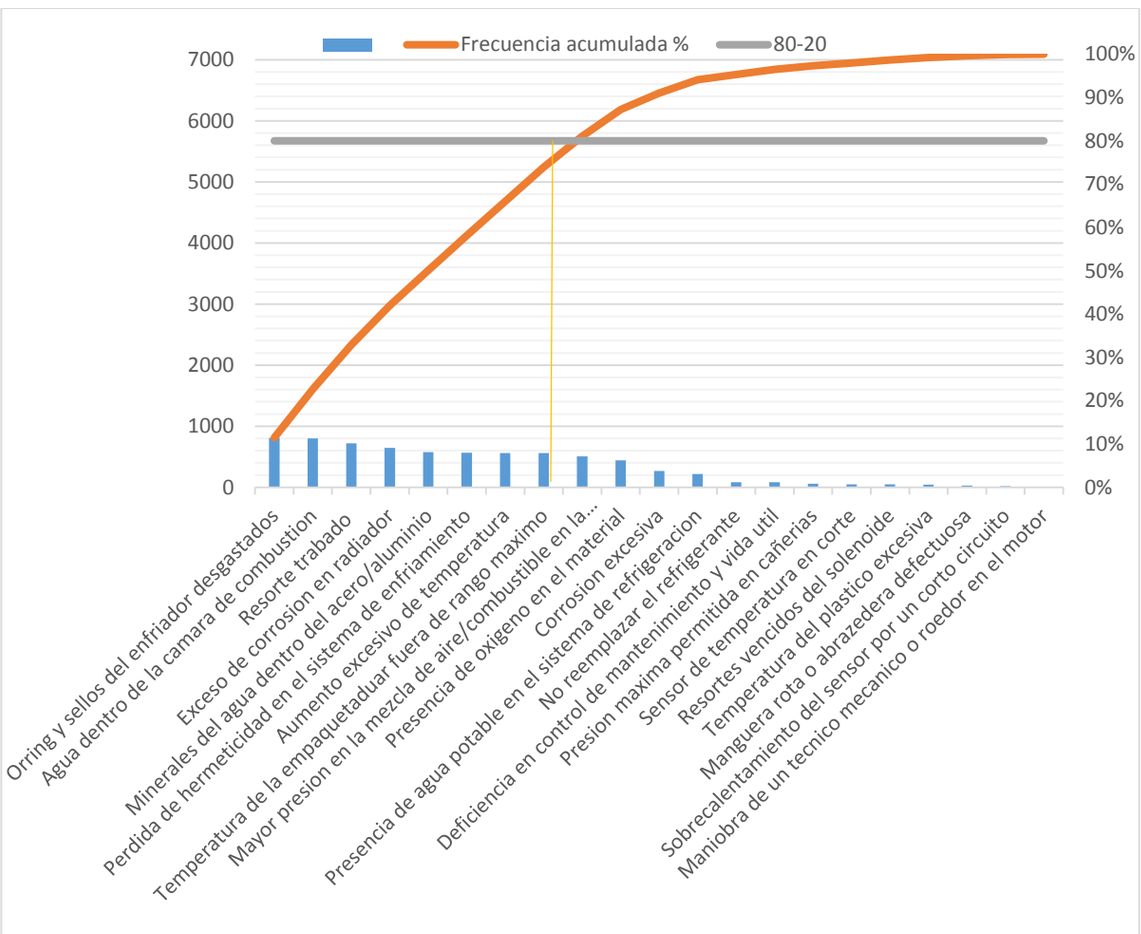


Grafico 2 Pareto Ley 80/20

El presente grafico de Pareto nos representa con mayor claridad acerca de los componentes del sistema de enfriamiento y su impacto en las consecuencias de las fallas que podría tener nuestro motor a combustión interna.

Se explica, ya que, realizamos el Pareto respecto a las causas de fallo dentro del sistema.

Con la ley de 80/20 de Pareto, nos queda en claro que debemos de enfocarnos en el 20% de las causas de fallo de un sistema como tal e intentar de controlarlas o bien realizarle un mantenimiento adecuado que permita por consiguiente aumentar la confiabilidad del equipo y así también del sistema de refrigeración como es en este caso.

Si como mantenedores, nos preocupáramos de que al sistema no le ocurran estas fallas e inspeccionáramos antes y seguidos de las pautas de mantenimiento requeridas por el fabricante, no deberían darse estos casos a menudo como se está viendo actualmente. Así obtendríamos un servicio de mantenimiento confiable, aumentando la vida útil del sistema y aumentando su Tiempo medio entre fallas. MTBF. Que en conclusión le da mayor confiabilidad al sistema

CAPITULO 4 PAUTA DE MANTENIMIENTO Y COSTOS EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO

4.1 PLAN DE MANTENIMIENTO POR KILOMETRAJE

Un buen plan de mantenimiento automotriz, se basa en el mantenimiento preventivo por kilometraje. Si bien es cierto, reemplazar componentes que estén defectuosos es lo más normal que se realiza en todos los servicios técnicos, aunque, esperar que los componentes de un sistema fallen, no siempre es la mejor opción, ya que algún modo de fallo en un tipo de sistema en específico, puede convertirse en un fallo funcional total del sistema y en consecuencia de esto la detención total del motor.
Es por ello que a través del tiempo, los planes de mantenimiento han mejorado respecto a las marcas y procedencia de materiales de construcción de motores a combustión interna.

El siguiente plan de mantenimiento, nos proporcionará información suficiente para realizar un buen mantenimiento, ya sea preventivo o correctivo, a cualquier sistema de refrigeración del automóvil, además, nos da información acerca de costos aproximados referente a los modos de fallo que puede presentar un sistema de enfriamiento, respecto a los componentes del sistema y el NPR registrado en nuestro AMEF.

COMPONENTE	CAUSA DE FALLA	NPR	MANTENIMIENTO	ACTIVIDAD	FRECUENCIA SERVICIO	COSTO REPUESTOS	COSTO OBRA DE MANO	COSTO TOTAL
Enfriador de aceite	Orring y sellos del enfriador desgastados	810	Preventivo	Reemplazo de orring y sellos del enfriador	Cada 60.000 Km	$ 30.000	$ 80.000	$ 110.000
Refrigerante	Agua dentro de la camara de combustion	800	Predictivo	Prueba de hermeticidad en el cilindro	Cada 60.000 Km	$ -	$ 30.000	$ 30.000
Termostato	Resorte trabado	720	Preventivo	Reemplazo de refrigerante del motor	Cada 20.000 Km o 1 año	$ 40.000	$ 25.000	$ 65.000
Radiador	Exceso de corrosion en radiador	648	Preventivo	Inspeccion visual a la tapa del radiador	Cada 10.000 Km	$ -	$ 10.000	$ 10.000
Materiales del motor	Minerales del agua dentro del acero/aluminio	576	Preventivo/Predictivo	Inspeccion visual y verificacion de agua en el sistema	Cada 10.000 Km	$ -	$ 15.000	$ 15.000
Empaquetadura de culata	Perdida de hermeticidad en el sistema de enfriamiento	567	Preventivo	Cambio de empaquetadura de culata	150.000 Km o 10 años, lo que suceda primero	$ 200.000	$ 400.000	$ 600.000
Culata y bloque de motor	Aumento excesivo de temperatura	560	Correctivo/a la falla	Servicio completo de culata y block	Cuando suceda la falla	$ 350.000	$ 400.000	$ 750.000

Material de empaquetadura	Temperatura de la empaquetaduar fuera de rango maximo	560	Correctivo/a la falla	Reemplazo de empaquetadura y rectificacion de culata	Cuando suceda la falla	$	250.000	$	400.000	$	650.000
Pernos de culata	Mayor presion en la mezcla de aire/combustible en la camara de combustion	504	Preventivo	Reemplazo cada vez que se desmonte la culata	Cuando suceda la falla	$	150.000	$	400.000	$	550.000
Aluminio	Presencia de oxigeno en el material	441	Preventivo	Cambio de refrigerante y limpiador	Cada 40.000 Km o 1 año	$	40.000	$	25.000	$	65.000
Sistema de enfriamiento	Corrosion excesiva	270	Preventivo	Lavado general del sistema	Cada 100.000 Km	$	40.000	$	30.000	$	70.000
Deposito de expansion	Presencia de agua potable en el sistema de refrigeracion	216	Preventivo	Detector de presencia de agua	Cada 10.000 Km	$	-	$	10.000	$	10.000
Refrigerante	No reemplazar el refrigerante	84	Prevemtivo	Lavado del sistema y reemplazo coolant	Cada 40.000 Km	$	40.000	$	30.000	$	70.000
Mantenimiento	Deficiencia en control de mantenimiento y vida util	84	Preventivo	Realizar pautas de mantenimiento por Km	Todos los servicios de mantenimiento	$	-	$	-	$	-
Cañerias	Presion maxima permitida en cañerias	60	Preventivo	Purgar el sistema de enfriamiento	Cada 40.000 Km	$	-	$	15.000	$	15.000
Sensor de temperatura	Sensor de temperatura en corte	48	Predictivo	Revisar e inspeccionar cableado y corrosion en el sensor	Cada 40.000 Km	$	-	$	15.000	$	15.000
Electroventilador	Resortes vencidos del solenoide	48	Preventivo	Verificar que encienda a la temperatura de trabajo permisible	Cada 10.000 Km	$	-	$	10.000	$	10.000
Deposito de expansion	Temperatura del plastico excesiva	42	Correctivo/a la falla	Inspeccion o reemplazo de deposito	Cada 10.000 Km o a la falla	$	50.000	$	20.000	$	70.000
Mangueras y flexibles	Manguera rota o abrazedera defectuosa	30	Preventivo	Inspeccion y reemplazo de abrazaderas	Cada 60.000 Km	$	30.000	$	40.000	$	70.000
Sensor de temperatura	Sobrecalentamiento del sensor por un corto circuito	18	Preventivo/Correctivo	Medir recistencia al sensor	Cada 10.000 Km o a la falla	$	-	$	20.000	$	20.000
Tecnico mecánico	Maniobra de un tecnico mecanico o roedor en el motor	4	Predictivo	Verificar parametros de medicion de temperatura	Cada 10.000 Km	$	-	$	15.000	$	15.000

Tabla 5 Plan de mantenimiento preventivo

4.2 EXPLICACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO

Primeramente en este plan de mantenimiento basado en los componentes del sistema de refrigeración. Se relacionó el número prioritario de riesgo (NPR) por el motivo de encontrar los componentes más críticos a la hora de presentar una falla.

Luego de tener los NPR de las causas de fallo y el tipo de mantenimiento que se requiere en cada componente. Designamos que actividad realizaremos y dentro de que periodos por kilometraje.

Finalmente al tener los mantenimientos por kilometraje de cada componente del sistema de enfriamiento, obtendremos costos de mano de obra y costos de repuestos. Para obtener la suma final del costo total de mantenimiento.

4.3 BENEFICIOS DE SEGUIR EL PLAN DE MANTENIMIENTO POR KILOMETRAJE

Seguir el plan de mantenimiento por kilometraje para un técnico mecánico o una serviteca automotriz, siempre será la mejor opción para aumentar el MTBF en los automóviles. Y prevenir fallas funcionales, aumentando la vida útil. A esto se le resume como la confiabilidad.

Como bien sabemos, Toyota es el líder en confiabilidad, aunque, en este caso, no nos referimos a mantenimientos, ya que, cada servicio técnico decide si seguirlos o no; No obstante, Toyota ha sido el líder mundial por mucho tiempo gracias a la procedencia de los materiales de construcción de motores, el numero bajo de fallas por año en sus vehículos y sus sistemas que siguen sorprendiendo al mundo automotor.

El mantenimiento finalmente busca el mismo horizonte, aumentar la confiabilidad del sistema y la vida útil de sus componentes, tratando de evitar las fallas funcionales que provoquen la detención total del vehículo.

A modo general, los beneficios dentro de una empresa en servicio automotriz o en cualquiera otra en realizar y seguir un plan de mantenimiento preventivo son las siguientes:

1) Control de los equipos.
2) Control del inventario.
3) Genera ahorros significativos.
4) Aumenta la vida útil de los equipos.
5) Seguridad para el personal en servicio.

4.4 COSTOS DE REPARACIÓN

En el plan de mantenimiento anterior del sistema de refrigeración del automóvil, se puede observar con claridad las cifras bajas y altas en cuanto a costo total de mantenimientos, ya sea preventivo y correctivo, siendo este último el mantenimiento correctivo lo más costos del plan. Esto es debido a que si no se realiza a tiempo un mantenimiento preventivo, o simplemente no se realiza una inspección periódica acerca de una presunta falla,

obtendremos como consecuencia una falla funcional y en este sistema en particular generalmente son fallas graves de altos costos de reparación.

4.5 COSTO TOTAL DEL MODO DE FALLO DEL AUTOMÓVIL VOLVO V40

Primeramente, hay que entender que una falla funcional en un sistema de refrigeración, detiene inmediatamente el motor a combustión interna, esto se explica ya que, la función del sistema es enfriar el motor y mantenerlo en temperatura ideal de trabajo por ende sin este sistema activo, podemos obtener sobrecalentamiento en el motor lo cual es una falla grave.

Precisamente eso sucedió en el motor EcoBoost del Volvo V40, el componente que se vio afectado en este caso fue el termostato.

Como bien sabemos, el termostato es una válvula de seguridad del sistema de refrigeración, que permite el paso del refrigerante hacia el radiador. Causando que el motor a combustión interna mantenga y no exceda su temperatura normal de trabajo.

En este caso la válvula de seguridad quedó en la posición normalmente cerrada, significa que no permite el paso del fluido refrigerante hacia el radiador. Esto se traduce como una causa de fallo. Que trae sus consecuencias como se puede observar en nuestro AMEF de estudio de los modos de fallo.

CAUSA DE FALLO	Termostato (válvula de seguridad).
MODO DE FALLO	Aumento de presión en el sistema, cavitación.
CONSECUENCIA DE FALLO	Sobrecalentamiento en el motor, avería en culata o empaque de la misma.

En conclusión, eso fue lo que sucedió en este motor. Se tuvo que desmontar el motor a combustión interna, para diagnosticar, y realizar servicio de cabeza del motor.

Costo total del modo de fallo de sobrecalentamiento en el motor por termostato obstruido en vehículo volvo v40.

Procedimiento Técnico	MTTR (Horas)	Costo obra de mano	Costo Repuesto	Costo total
Desmontaje de motor a combustión	4	$100.000		$100.000
Extracción de accesorios del motor	3	$30.000		$30.000
Desmontaje de distribución	1	$20.000		$20.000
Separar block de cabeza de motor	1	$15.000		$15.000
Montar empaquetadura y torquear culata	2	$25.000		$25.000
Montar accesorios del motor	3	$30.000		$30.000
Montar la distribución	1	$25.000	$50.000	$75.000
Montar el motor a combustión	4	$100.000		$100.000
Ingresar y purgar el nuevo refrigerante	1	$15.000	$30.000	$45.000
Reemplazo de válvula termostato	1	$25.000	$40.000	$65.000

Tabla 6 Tabla de costos

Suma del Costo Total En mantenimiento correctivo	**$ 505.000**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio y análisis realizado a la problemática mencionada en el sistema de refrigeración, podemos concluir que respecto a un modo de falla en algún sistema o equipo, siempre habrá un inicio de una causa que al realizar un mantenimiento preventivo adecuado pueden evitarse.

Como bien entendemos, gracias al estudio de análisis de modos y efectos de fallas (AMFE), logramos comprender que un sistema como tal puede clasificarse en sus diversos componentes que cumplen un objetivo en específico, de acuerdo a esto según nuestro análisis de criticidad, se pueden identificar técnicamente, cuales son nuestros componentes de riesgo en el sistema que están propensos a enfrentarse a una falla critica conocido por el NPR (Numero prioritario de riesgo).

Gracias a esto logramos obtener nuestro diagrama de Pareto de causas de fallo y entender cuáles son los principales componentes que se deben de tener en consideración para disminuir la probabilidad de falla en nuestro sistema, con la ley 80/20.

Finalmente frente a esta gran problemática de fallas en el sistema de refrigeración tratándose de un sistema critico que requiere a menudo un mantenimiento preventivo, nuestra tarea como ingenieros es crear un plan de mantenimiento basándose en el control de los tiempos de fallas que puede presentar un componente en nuestro sistema. Vale decir, aumentar el tiempo medio entre fallas, y disminuir lo más posible el tiempo medio de reparación, para no tener el vehículo.

Como valor agregado a una conclusión, podemos enfocar el estudio realizado y nuestros respectivos análisis de mantenimiento a la confiabilidad del sistema como tal.
En este sistema, el reemplazar elementos de sacrificios o de servicios de mantenimiento preventivo, nos hará obtener mayor confiabilidad del sistema, o dicho de otra forma, el sistema tendrá menores probabilidades de tener un modo de falla en un tiempo determinado.

Por ejemplo, si como técnicos mecánicos nos enfrentamos a un vehículo cuyo sistema se encuentra obstruido por un termostato que debió haberse cambiado 10.000 kilómetros de recorrido antes de que fallara. Lo que como consecuencia sobrecalentó los componentes internos del motor, dando colapso a la empaquetadura de culata como le ocurrió al motor volvo.

Ahí vemos un ejemplo práctico, de cómo influye el mantenimiento de un vehículo respecto a la confiabilidad de los sistemas. Ya que si se hubiera reparado antes de que el modo de falla se presentase, éste no habría obtenido una consecuencia de una reparación con tiempos muertos elevados en detención.

Finalmente concluimos que siempre siguiendo un plan de mantenimiento adecuado y comprobado. Obtendremos como resultado una disminución total en servicios mecánicos dentro del periodo de vida útil del activo.