

PLAN DE MANTENIMIENTO DE PREDICTIVO Y PREVENTIVO EN MOTORES
DIESEL Y MODELACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE CONSUMO DE
COMBUSTIBLE EN EL GERENCIAMIENTO DE UNA FLOTA DE TRANSPORTE
DE CARGA ANALIZANDO LOS FACTORES QUE INCIDEN DIRECTAMENTE EN
EL INDICADOR

CESAR LEONEL GARZON ARENAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

PLAN DE MANTENIMIENTO DE PREDICTIVO Y PREVENTIVO EN MOTORES
DIESEL Y MODELACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE CONSUMO DE
COMBUSTIBLE EN EL GERENCIAMIENTO DE UNA FLOTA DE TRANSPORTE
DE CARGA ANALIZANDO LOS FACTORES QUE INCIDEN DIRECTAMENTE EN
EL INDICADOR

CESAR LEONEL GARZON ARENAS

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

Director

Wilmer Octavio Lamus Sierra

Mag. en Gestión De Proyectos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

*A Dios, por ser mi guía,
A mis padres, por darme la mejor educación.*

*A mi esposa, por ser mi gran apoyo y
quien siempre ha confiado en mí.*

*Y a todos aquellos que siempre me han
Apoyado y han confiado en mí.*

César.

AGRADECIMIENTOS

A WILMER OCTAVIO LAMUS, director de la monografía, por todo la guía y el apoyo brindado en la realización de la monografía.

A ISNARDO GONZALEZ JAIMES, ingeniero mecánico y profesor por sus aportes y consejos en el desarrollo de la monografía, y su gran colaboración para las pruebas realizadas en este proyecto.

A nuestras familias, amigos y todas las personas que nos brindaron su apoyo a través de consejos, apoyo documental o cualquier otra forma.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. PROBLEMÁTICA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL TRANSPORTE DE CARGA PESADA EN COLOMBIA	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo General.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
1.3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO	17
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 HISTORIA DEL TRANSPORTE DE CARGA.....	18
3. MARCO CONCEPTUAL.....	23
3.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO.....	23
3.1.1 Primera etapa: Mantenimiento Correctivo.....	23
3.1.2 Segunda etapa: Mantenimiento Preventivo	23
3.1.3 Década de 1960: mantenimiento predictivo.....	25
3.1.4 Década de 1970-1980: Mantenimiento Productivo Total (TPM)	26
3.1.5 Década de 1980: Mantenimiento RCM.....	27
3.2 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO EN EL TRANSPORTE DE CARGA.....	28
3.2.1 Mantenimiento correctivo.....	29
3.2.2 Mantenimiento preventivo.....	29
3.2.3 Mantenimiento Predictivo.....	29
3.2.4 Mantenimiento autónomo	30
3.2.5 Telemetría.....	30
3.3 GENERALIDADES DE COMPONENTES DE UN VEHÍCULO DE CARGA ...	31

3.3.1 Motor.....	31
3.3.2 Transmisión	31
3.3.3 Diferenciales	31
3.3.4 Dirección.....	31
3.3.5 Frenos.....	31
3.3.6 Suspensión	32
3.3.7 Eléctrico	32
3.3.8 Chasis.....	32
4. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION.....	33
4.1 HISTORIAL DE FALLAS DE LOS TRACTO CAMIONES EN EL COMPONENTE MOTOR.....	33
4.2 DISTRIBUCION DE COSTO EN EL TRANSPORTE DE CARGA.....	34
4.2.1 Costos fijos en el transporte de carga	34
4.2.2 Costos variables en el transporte de carga.....	34
4.3 RUTAS ANALIZADAS	35
4.3.1 Ruta Bucaramanga – Cúcuta.....	35
4.3.2 Ruta Bucaramanga – Bogotá.....	36
4.3.3 Ruta Bucaramanga – Barranquilla.....	37
5. MODELO PROPUESTO.....	39
5.1 PLAN DE RUTAS Y PARAMETRIZACIONES.....	39
5.1.1 Consideraciones para parametrizar una ruta.....	39
5.2 RECOLECCION DE DATOS DE LOS MANTENIMIENTOS Y PARAMETRIZACIONES	40
5.2.1 Toma de datos de mantenimiento	40
5.2.2 Toma de datos de las parametrizaciones	40
5.3 MANEJO DE LA INFORMACION DE LOS MANTENIMIENTO Y LAS PARAMETRIZACIONES REALIZADAS	40
5.3.1 Análisis de la información de las parametrizaciones realizadas por las vías nacionales en los tractocamiones	41
5.3.2 Análisis criticidad de los componentes y periféricos de motor	42

5.3.3	Análisis de los mantenimientos y fallas recurrentes más reportadas en los dos vehículos analizados en el 2020	43
5.4	PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA FLOTA DE TRACTO CAMIONES	44
5.4.1	Mantenimiento de primer nivel del plan de mantenimiento	44
5.4.2	Mantenimiento predictivo del plan de mantenimiento	45
5.4.3	Personal necesario para el mantenimiento	45
5.4.4	Compras y almacén para el mantenimiento en una flota de transporte de carga	46
5.4.5	Plan general de mantenimiento para el motor de un tracto camión	47
6.	CONCLUSIONES.....	49
	BIBLIOGRAFIA	50

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Motor ISX.	20
Figura 2. Malla vial de Colombia	22
Figura 3. Ruta Bucaramanga – Cúcuta.	35
Figura 4. Topografía de la ruta Bucaramanga – Cúcuta	36
Figura 5. Ruta Bucaramanga – Bogotá.	36
Figura 6. Topografía de la ruta Bucaramanga – Bogotá	36
Figura 7. Ruta Bucaramanga – Barranquilla.	37
Figura 8. Topografía de la ruta Bucaramanga – Barranquilla.....	38

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Indicadores de transporte, costos operativos, diciembre 2020.	16
Cuadro 2. Malla vial en Colombia a diciembre de 2020.	21
Cuadro 3. Fallas más comunes en motor Diesel ISX	33
Cuadro 4. Fallas más comunes que afectan el consumo de combustible.	40
Cuadro 5. Rendimientos de rutas nacionales parametrizadas	41
Cuadro 6. Evaluación de criticidad para el análisis de los componentes.	42
Cuadro 7. Matriz de criticidad para el análisis de los componentes de motor.	43
Cuadro 8. Actividades de primer nivel.....	44
Cuadro 9. Actividades de mantenimiento predictivo en el motor.....	45
Cuadro 10. Plan de mantenimiento para motor ISX.	48

GLOSARIO

ACTUADORES: En el sistema de combustible son los encargados de dosificar la cantidad de combustible para la combustión se realice de manera correcta y lo más completa posible.

ALTERNADOR: El alternador es el componente eléctrico que permite generar la corriente para que no se descarguen las baterías durante la operación del vehículo, ya que es una planta que logra cargar las baterías para tenerlas en el rango optimo para el momento de arranque o en el momento que se requiera.

INTERCOOLER: En el motor Diesel el intercooler es un radiador el cual hace las veces de un intercambiador de calor cuya función es la de enfriar el aire de cargada por medio del turbo.

INYECTORES: En el sistema de combustible son los encargados de pulverizar el combustible en la cámara de combustión para que esta sea lo más completa posible.

MOTOR DE ARRANQUE: El motor de arranque es el elemento que permite dar el inicio al motor Diesel.

PARAMETRIZACION: Es el trazado, realización y análisis de la ruta realizada por el tracto camión.

RADIADOR: El radiador es el intercambiador de calor que permite mantener el motor en la temperatura de funcionamiento óptimo, al hacer cambio de calor al ambiente al bajar la temperatura del líquido refrigerante del motor.

RUTA: Es la trayectoria realizada por los tracto camiones utilizados en la monografía, y comprende el trayecto desde un punto A hasta un punto B.

SOLENOIDE: En el sistema de inyección de combustible del motor Diesel, el solenoide de corte de combustible es el encargado de como su nombre lo indica realizar el corte electrónico de paso de combustible en el momento de apagado del motor.

TELEMETRIA: Es la tecnología con la cual podemos medir variables físicas o químicas a través de datos en tiempo real, para hacer seguimiento a los vehículos durante una ruta determinada.

TOBERAS: En el motor Diesel las toberas son los canales encargados del llevar el combustible pulverizado a la cámara de combustión.

TRACTO CAMION: Vehículo de tracción utilizado para movilizar tráiler desde un punto A hasta un punto B.

TURBO: El turbo es el componente dotado de una turbina que permite comprimir e inyectar mayor cantidad de aire a la mezcla para de esta manera poder aumentar la potencia al lograr una mezcla mas rica de oxígeno y combustible.

RESUMEN

TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO DE PREDICTIVO Y PREVENTIVO EN MOTORES DIESEL Y MODELACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL GERENCIAMIENTO DE UNA FLOTA DE TRANSPORTE DE CARGA ANALIZANDO LOS FACTORES QUE INCIDEN DIRECTAMENTE EN EL INDICADOR*

AUTOR: CESAR LEONEL GARZON ARENAS**

PALABRAS CLAVE: RUTA, PARAMETRIZACION, TRACTO CAMION, RENDIMIENTO, COMBUSTIBLE.

DESCRIPCIÓN: Esta monografía muestra el desarrollo de un plan de mantenimiento para el componente motor y los periféricos que inciden directamente en el consumo de combustible para el transporte de carga por tracto camiones a nivel nacional, basado en parametrizaciones en rutas nacionales con carga permitida para cada vehículo, para lo cual se basa en el transporte de aproximadamente 52 toneladas en promedio.

Este desarrollo está soportado y basado en parametrizaciones de varias rutas nacionales teniendo en cuenta las salidas de punto de partida full de combustible y a la llegada se deja el vehículo nuevamente full, realizando como parámetro el pesaje en bascula tanto a la salida del tracto camión como a la llegada en su punto de entrega de la carga.

El resultado debe ser analizado en los mantenimientos a realizar de manera preventiva y predictiva al motor y cada uno de sus componentes motor, esto se ha basado en el historial de cada intervención realizada a cada componente y realizando toma de tiempos y periodos de cada ingreso de los equipos a realizar cada uno de los mantenimientos preventivos y predictivos para determinar la mejor y más efectiva forma de realizar la corrección de la desviación del componente para que realice su trabajo sin llegar a la falla.

*Monografía de grado.

**Facultad de ingenierías Físico – Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Wilmer Octavio Lamus Sierra.

ABSTRACT

TITLE: PREDICTIVE AND PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN IN DIESEL ENGINES AND MODELING OF FUEL CONSUMPTION PERFORMANCE IN THE MANAGEMENT OF A FREIGHT TRANSPORTATION FLEET BY ANALYZING THE FACTORS THAT DIRECTLY IMPACT THE INDICATOR*

AUTHOR: CESAR LEONEL GARZON ARENAS**

KEYWORDS: ROUTE, PARAMETERIZATION, TRUCK TRACT, PERFORMANCE, FUEL.

DESCRIPTION: This monograph shows the development of a maintenance plan for the engine component and peripherals that directly affect the fuel consumption for the transport of cargo by truck trucks nationwide, based on parameterizations on national routes with permitted load for each vehicle, for which it is based on the transport of approximately 52 tons on average.

This development is supported and based on parameterizations of several national routes taking into account the departures of full fuel starting point and upon arrival the vehicle is left full again, performing as a weighing scale as a scale both at the exit of the truck and at the arrival at your point of delivery of the cargo.

The result must be analyzed in the maintenance to be carried out in a preventive and predictive manner to the engine and each of its engine components, this has been based on the history of each intervention performed on each component and taking time and periods of each income from the teams to carry out each of the preventive and predictive maintenance to determine the best and most effective way to perform the correction of the deviation of the component to perform its work without reaching the fault.

* Undergraduate Monograph.

**Physical – Mechanical Faculty. Maintenance Management Specialization. Director Wilmer Octavio Lamus Sierra.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el control y rendimiento del combustible en las empresas de transporte es un rubro de suma importancia¹, por tal motivo es el objetivo primordial para la elaboración de la presente monografía, pues tiene como objetivo buscar el plan de mantenimiento preventivo y predictivo de los componentes motor y periféricos que influyen para lograr obtener la mejor eficiencia en los motores diésel, basados en los consumos de combustible teniendo en cuenta la carga, y las condiciones de la altimetría de las rutas.

Por experiencia se conoce que hoy en día las empresas invierten grandes cantidades de dinero para mejorar los rendimientos de combustible, dejando de lado el buen mantenimiento de los componentes de motor, dejando de lado la causa raíz de la baja eficiencia, para lo cual es indispensable parametrizar las rutas y condiciones de las rutas por donde se transporta la carga a nivel nacional.

Es importante señalar que el objetivo principal es generar un plan de mantenimiento preventivo y predictivo de los motores diésel y cada uno de los periféricos del motor que influyen en el rendimiento del consumo en los tractocamiones con motor diésel, estos basados solo en las rutas realizadas.

¹ SILVERA ESCUDERO, Rodolfo E y MENDOZA VALENCIA, Dannys. Costos logísticos del transporte terrestre de carga en Colombia. 1 ed. Barranquilla: Servicio Nacional de Aprendizaje, 2017.p.146.

1. PROBLEMÁTICA DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN EL TRANSPORTE DE CARGA PESADA EN COLOMBIA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia el aproximadamente el 35,13% de los costos del transporte de carga según el informe de COLFECAR² para diciembre del 2020 correspondió a los costos de consumo de combustible, siendo este el mayor y de gran importancia en el sector de transporte de carga en el país como se puede evidenciar en el cuadro 1, por esta razón es de suma importancia lograr aumentar la eficiencia del consumo de combustible de los tracto camiones, de esta manera se crea la necesidad de tener en perfecto estado el motor y sus periféricos ya que es una de las formas de que se logre mantener la mayor eficiencia de combustible, es por esto que se deben realizar un consolidado de los datos obtenidos de cada una de las intervenciones de los vehículos, para poder realizar un análisis más a fondo de los periodos e intervenciones necesarias para que los indicadores de kilómetros por galón de combustible o costo por kilómetro sean los más eficientes ya que esta es una medida de la utilidad que se puede obtener en el sector transporte.

Adicional al mantenimiento de cada uno de los componentes, es relevante realizar parametrizaciones de cada una de las rutas más frecuentes realizadas a nivel nacional para de esta manera obtener los rendimientos en cada una de las rutas y poder determinar los indicadores en cada una de ellas.

² COLFECAR. Indicadores del transporte – costos operativos – diciembre 2020. [sitio web]. Bogotá. [Consulta: 25 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.colfecar.org.co/estudios-economicos/>

Cuadro 1. Indicadores de transporte, costos operativos, diciembre 2020.

CONCEPTO	PARTICIPACION %
COMBUSTIBLES	35.13
SALARIOS, PRESTACIONES Y COMISIONES	18.14
COSTO DE CAPITAL	12.44
PEAJES	12.28
LLANTAS Y NEUMATICOS	8.01
MANTENIMIENTO Y REPARACION	7.01
SEGUROS	2.06
LUBRICANTES	1.56
OTROS	1.38
GARAJES Y LAVADO	0.83
FILTROS	0.78
IMPUESTOS AL VEHICULO	0.38
Total	100.00

Fuente. COLFECAR. Indicadores del transporte – costos operativos – diciembre 2020. [sitio web]. Bogotá. [Consulta: 25 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.colfecar.org.co/estudios-economicos/>

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

Proponer un plan de mantenimiento predictivo y preventivo a los componentes motor que generan alto impacto en el consumo de combustible en motores Diesel para el transporte de carga, que logren variar el indicador de rendimiento (kilómetros por galón) y los costos por kilómetro.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar los componentes de los motores Diésel que generar alto impacto en el consumo de combustible en tracto camiones para incluirlos en un plan de mantenimiento.

- Realizar parametrización de rutas de alto impacto que den información certera de los rendimientos, hábitos de conducción, factores de carga, disponibilidad y productividad del equipo.
- Bajar información de los motores y conducción de los tractocamiones en las rutas parametrizadas.
- Generar un plan de mantenimiento preventivo para componentes motor para una empresa de transporte de carga.

1.3 JUSTIFICACION DEL PROYECTO

Esta monografía está enfocada generar un referente de mantenimiento en motores de combustión interna Diésel utilizados para el transporte de carga por carretera que generen impactos en la reducción de costos, aumentando la confiabilidad de los equipos y las utilidades de las empresas del sector, dando importancia a todos los factores que influyen en el rendimiento tales como la topografía, la aerodinámica del equipo, conducción eficiente.

Actualmente es de suma importancia tener en cuenta la responsabilidad social y ambiental para minimizar la generación de gases de efecto invernadero (GEI) de manera que se minimicen la huella de carbono³, puesto que la flota vehicular de carga existente en el país, al año 2018 tenía en promedio edades de más de 20 años⁴, los cuales son actores importantes en la contaminación del aire de nuestras ciudades.

³ MINISTERIO DE AMBIENTE. Huella de carbono. [sitio web]. Bogotá. [Consulta el 25 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/mitigaci/huella-de-carbono>.

⁴ PORTAFOLIO. Vehículos de carga que se mueven en el país tienen más de 20 años. [sitio web]. Bogotá. [Consulta el 01 de junio 2021]. Disponible en: <https://acortar.link/R6zTc>.

2. MARCO TEÓRICO

El automóvil es un vehículo autopropulsado de manera mecánica que es usado para transportar personas o materiales de un lugar a otro, esto es gracias a la invención del motor de combustión interna, el cual, al realizar la transformación de un combustible fósil de energía química a energía térmica, es aprovechada y a su vez transformada en energía cinética, los ciclos más comunes de combustión interna son el Otto y el Diésel del que trataremos más a fondo.

2.1 HISTORIA DEL TRANSPORTE DE CARGA

El intercambio de mercancía entre las naciones, incluso aquellas que se hallaban a grandes distancias las unas de las otras, es tan antiguo como la humanidad misma⁵. En un principio este transporte se realizaba mediante el empleo de bestias de carga, o sea, burros, camellos u otros animales que soportaban el peso de la mercancía sobre su lomo.

La desventaja del transporte «a sangre» era que permitía trasladar pocas cantidades a la vez, y así se hacía necesario tener largas filas de animales. En el siglo XVIII⁶, la Revolución Industrial trajo nuevas formas de transporte que hicieron este tipo de intercambio más sencillo, gracias a la máquina de vapor.

La máquina de vapor fue utilizada en las dos innovaciones más revolucionarias en la materia: el ferrocarril y el barco a vapor, los cuales achican las distancias dentro

⁵ WIKIPEDIA. Comercio. [sitio web]. [Consulta el 01 de mayo 2021]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Comercio>.

⁶ WIKIPEDIA. Revolución industrial. [sitio web]. [Consulta el 10 de mayo 2021]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Revoluci%C3%B3n_Industrial.

y fuera de las naciones de manera muy significativa. Así comenzó una amplia gama de servicios comerciales de transporte internacional⁷.

En las flotas de transporte es altamente utilizado el mantenimiento correctivo y preventivo basado en rutinas recomendadas por el fabricante de los equipos, pero para ellos es de suma importancia realizar seguimientos y análisis a los datos de la información recopilada en las empresas para adaptarlas a cada ruta realizada por la empresa de transporte, a que nuestra topografía no es la misma a la de los países de origen de los vehículos y repuestos que se ofrecen en el país, el mantenimiento predictivo nos da la posibilidad tecnológica de tomar información o datos en el mantenimiento y generar un análisis de las tendencias y fallas presentes en los componentes de motor, basados en los análisis de aceites, temperaturas, vibraciones, periodicidad de fallas, entre otros; cabe mencionar que en el año 1993⁸ Ortiz Montañez Edgar Augusto realizó un trabajo de grado “ Alternativas para reducir el consumo de combustible y emisiones de gases de escape en motores de combustión interna Fase I”, pero según lo visto y analizado no es específico para el transporte de carga sino esta de manera muy general y en nuestro caso es muy relevante analizar los factores que inciden en las variaciones del rendimiento y las emisiones de esta flotas de transporte.

Para nuestro caso analizaremos sólo el rendimiento de tracto camiones con motor ISX (figura 1).

⁷ RAFFINO, María E. Transporte de carga En: CONCEPTO.DE. [sitio web]. Argentina. [Consulta 15 de mayo 2021]. Disponible en: <https://concepto.de/transporte-de-carga/>.

⁸ ORTIZ MONTANEZ, Edgar Augusto y PUENTES PUENTES, Edwin Martin. Alternativas para reducir el consumo de combustible y emisiones de gases de escape en motores de combustión interna fase I. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, 1993.

Figura 1. Motor ISX.



Fuente. COMPAÑÍA GENERAL DE EQUIPAMENTOS S.R.L. Manual de operación International 9200i/9400i. [sitio web]. México. [Consulta el 20 de mayo 2021]. Disponible en: <https://acortar.link/U3yrU>.

Colombia tiene una malla vial de carreteras o vías nacionales que ha estado en constante desarrollo para la interconexión del país con las principales ciudades y puestos de ingreso y salida de carga según se evidencia en la figura 2. En el país del 100% de la malla vías existente solo el 80,63% se encuentra pavimentada y de esta el 15,42% se encuentra en muy buen estado y 36,64% se encuentra en un buen estado, el 30,09% se encuentra en regular estado, el 17,02% está en mal estado y el 0,83% está en muy mal estado del % 100 de la malla vial pavimentada del país según el INVIAS, como se muestra en la tabla

Cuadro 2. Malla vial en Colombia a diciembre de 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS															
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS E INNOVACIÓN															
dic-20															
No.	TERRITORIAL	PAVIMENTADO (Kms)					SIN PAVIMENTAR (Kms)					RED TOTAL CALIFICADA			
		MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO	MUY BUENO	BUENO	REGULAR	MALO	MUY MALO	PAV.	SIN PAV.	INTERV.	TOTAL
1	ANTIOQUIA	17,00	113,78	190,19	213,59	1,00	0,00	0,00	2,49	0,00	0,00	535,56	2,49	0,00	538,04
2	ATLANTICO	0,56	6,96	0,00	0,00	0,00	19,30	3,14	20,00	19,06	0,00	7,52	61,50	0,00	69,02
3	BOLIVAR	16,35	57,13	46,00	35,81	0,00	0,00	0,00	0,00	2,55	0,00	155,09	2,55	0,00	157,64
4	BOYACA	47,33	184,61	302,29	133,35	2,00	0,00	4,60	61,40	107,20	0,09	669,58	173,29	0,00	842,87
5	CALDAS	75,33	68,70	34,97	2,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	181,07	0,00	0,00	181,07
6	CAQUETA	124,85	113,21	99,56	51,21	0,00	0,00	25,36	6,19	24,96	0,00	388,83	56,51	0,00	445,34
7	CASANARE	1,93	152,44	231,23	174,91	0,00	0,17	19,12	20,79	7,60	0,10	560,51	47,78	0,00	608,29
8	CAUCA	109,89	169,19	245,48	113,99	1,03	0,00	120,87	325,49	182,58	10,15	639,58	639,09	0,00	1.278,67
9	CESAR	74,47	129,26	98,15	139,55	20,08	0,00	0,00	0,00	18,20	10,19	461,51	28,39	0,00	489,90
10	CHOCO	21,59	87,61	52,43	3,66	0,00	0,00	0,00	36,06	47,53	29,38	165,29	112,97	0,00	278,26
11	CORDOBA	40,04	47,01	67,87	84,25	0,00	1,52	14,41	22,03	11,93	0,00	239,17	49,89	0,00	289,06
12	CUNDINAMARCA	11,89	73,42	91,90	31,80	0,00	0,00	2,99	9,88	17,73	0,00	209,01	30,60	0,00	239,61
13	GUAJIRA	17,23	107,46	16,03	7,93	0,00	0,00	0,92	9,34	0,00	0,00	148,65	10,26	0,00	158,91
14	HUILA	40,02	90,30	78,88	56,62	0,97	0,00	22,92	109,19	80,03	1,18	266,79	213,32	0,00	480,11
15	MAGDALENA	39,58	76,17	20,04	6,80	15,87	0,00	0,00	2,87	58,74	24,45	158,46	86,06	0,00	244,52
16	META	44,25	153,57	136,11	15,20	2,40	0,00	45,15	113,38	61,63	13,13	351,53	233,29	0,00	584,82
17	NARINO	173,20	309,04	125,46	94,43	0,00	3,37	1,94	0,00	2,43	10,35	702,13	18,09	0,00	720,22
18	N. DE SANTANDER	19,98	154,91	142,73	109,59	0,00	0,00	0,00	72,40	34,76	6,00	427,21	113,16	0,00	540,37
19	PUTUMAYO	93,72	46,69	6,03	3,37	0,00	0,00	10,05	45,11	76,98	0,00	149,81	132,14	0,00	281,95
20	QUINDIO	37,72	35,52	41,02	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	116,26	0,00	0,00	116,26
21	RISARALDA	13,80	100,92	64,21	29,38	0,00	0,00	0,00	17,42	18,20	2,98	208,31	38,60	0,00	246,91
22	SANTANDER	110,45	464,30	280,86	87,43	14,16	0,00	28,04	28,93	80,83	23,17	957,20	160,97	8,74	1.126,91
23	SUCRE	35,92	38,92	29,52	35,68	10,99	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	151,03	0,65	0,00	151,68
24	TOLIMA	5,85	219,37	57,64	23,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	305,91	0,00	0,00	305,91
25	VALLE	253,71	192,04	266,53	65,10	0,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	777,84	0,00	17,60	795,44
26	OCANA	0,61	218,92	67,59	59,40	8,48	0,00	0,00	0,00	2,98	1,85	355,00	4,83	0,00	359,83
27	S. ANDRÉS y PROV.	12,00	8,50	16,00	8,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	45,30	0,00	0,00	45,30
	TOTAL RED VIAL	1.439,27	3.419,95	2.808,71	1.588,77	77,44	24,36	300,16	902,97	855,92	133,02	9.334,15	2.216,43	26,34	11.576,92
		15,42%	36,64%	30,09%	17,02%	0,83%	1,10%	13,54%	40,74%	38,62%	6,00%	80,63%	19,15%	0,23%	

Fuente. INVIAS. Estado de la red vial. [sitio web]. Bogotá. [Consulta el 20 de mayo 2021]. Disponible en: <https://acortar.link/wRcuT>.

Figura 2. Malla vial de Colombia



Fuente. Colombia mapa de carreteras, [En línea] (Recuperado en 15 diciembre 2019). Disponible en: <http://es.maps-colombia.com/colombia-mapa-de-carreteras>

3. MARCO CONCEPTUAL

3.1 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

3.1.1 Primera etapa: Mantenimiento Correctivo. La revolución industrial ocurrida a finales del siglo XVIII e inicios del XIX, surgió la importancia de llevar a cabo mantenimientos a las máquinas, debido al gran impacto económico que implicaba el no realizar tales tareas.

En la primera etapa de esta evolución del mantenimiento, el mantenimiento era realizado sobre fallas o averías en la maquinaria, es decir, las tareas hechas eran sólo correctivas o reactivas que traía como consecuencia el detenimiento o parada de dicha máquina y que en casos implicaba el alto de toda una producción, según la importancia de esta.

Las correcciones de estas averías se llevaban a cabo con instrumentación y sistemas de control básicos. A raíz de esto, no representaba dificultad elevada el encontrar el origen o ubicación del daño, puesto que los componentes eran visibles y de gran tamaño.

Sin embargo, el impacto económico que representaba el realizar estas tareas cuando las máquinas o elementos ya fallaban, generaban preocupaciones por las paradas de máquina y porque en ciertas fallas, estas ocasionaban daños severos en otros componentes esenciales y costosos de reemplazar.

En esa etapa no los planes rutinarios no existían y por esto la estrategia solo consistía en realizar reparaciones a averías.

3.1.2 Segunda etapa: Mantenimiento Preventivo. Ya a mitad del siglo XX, las máquinas que eran usadas en los distintos procesos industriales, eran parte de toda una cadena compleja de producción.

Lo anterior apodado como producción a gran escala que contaba con el formato de línea de producción. Este tipo de producción intensificó el trabajo de las máquinas que prácticamente realizaban sus tareas sin descanso y su buen funcionamiento iba ligado a su rendimiento de producción.

La industria automotriz introdujo la idea de competitividad, productividad y reducción de costos, lo cual elevó el nivel de importancia de los activos, lo cual fue un gran paso en la evolución del mantenimiento.

En aquellas cadenas productivas, las demoras eran consideradas como inaceptables por las grandes pérdidas económicas que estas generaban y esto podría llegar a ser causado por la falla de un solo elemento. Esto se terminó potenciar en el transcurso de la Segunda Guerra Mundial.

En aquel momento, la diferente maquinaria se posicionó como el pilar fundamental en la producción de material bélico. Lo anterior permitió conformar las primeras actividades organizadas de mantenimiento preventivo.

El objetivo en esta etapa de la historia del mantenimiento, se centró en preservar la vida útil de los equipos y en te caso en particular, los activos militares, donde un mantenimiento correctivo no era aceptable, pues implicaba la no operación de este. Debido también al impacto económico causado por la guerra, era necesario evitar fallas tempranas minimizando los costos y disponer así de aquellos activos el mayor tiempo posible.

Las actividades de mantenimiento preventivo, consistían en:

- Ejecutar inspecciones diarias o rutinarias.
- Detección y monitoreo sistemático de fallas.
- Reemplazo de algunos elementos, de acuerdo a la cantidad de horas en funcionamiento.

3.1.3 Década de 1960: mantenimiento predictivo. En esta época el mantenimiento consistía en la prevención y corrección. Estas dos estrategias implicaban el tener que llevar a cabo actividades de fondo, útiles solo cuando surgía alguna avería.

Aquellos encargados del mantenimiento sólo se limitaban al cambio de piezas, lubricación, reparaciones eléctricas y mecánicas. La predicción no existía en estos casos y tampoco eran consideradas las condiciones de operación de cada uno de los equipos.

El costo de los planes de mantenimiento generados era alto y en muchas ocasiones eran llevadas a cabo tareas de mantención solo porque estaban ya establecidas en un intervalo de tiempo, pero sin algún tipo de evaluación del estado actual y real del equipo.

Debido a lo anterior, se pudo evidenciar que esas actividades programadas, no representaban algún tipo de mejora sustancial en equipos o instalaciones, por lo cual surgió la idea del mantenimiento predictivo, en aras de realizar un monitoreo basado en indicadores, dispositivos y sensores de cada activo y así poder predecir una posible avería o mal funcionamiento.

De acuerdo a lo anterior se dejó a un lado el realizar mantenimientos generales y sin evaluaciones del equipo a tomar en primer lugar datos clave de los equipos con el fin de determinar su vida útil restante, especialmente en aquellos componentes críticos.

Obtenidos los datos del estado del equipo, podían ser llevadas a cabo actividades de mantenimiento y se tomaban decisiones según lo hallado. Esto permitió el ahorro de recursos y tiempo de ejecución.

Todo lo anterior permitió el no dar a cada activo el mismo tratamiento, pues cada uno se comportaba distinto y tenía mayor o menor importancia en la producción. Ya en esta etapa se comenzaron a aplicar técnicas robustas de comprobación mecánica como lo es el estudio de las vibraciones. Estas técnicas no podían ser

llevadas a cabo por cualquier operario, pues requerían conocimientos profundos, por lo que el personal que las realizaba era especializado.

Los datos se registraban gráficamente, para poder observar su evolución de comportamiento o estado en el tiempo.

3.1.4 Década de 1970-1980: Mantenimiento Productivo Total (TPM). En esa época surge una filosofía oriunda de Japón, que revolucionó los procesos de mantenimiento que se ejecutaban en las industrias a nivel mundial. El surgimiento de esta filosofía muestra que inicialmente la evolución del mantenimiento no ocurrió en todo el mundo de la misma manera.

Japón fue pionero en muchas prácticas que luego fueron replicadas en el resto de países.

TPM (Total Productive Maintenance) es un concepto que fue implementado en primer lugar en la empresa Nippondenso en 1960.

Fue ideada de la mano del concepto de mantenimiento autónomo, que consistía en brindar capacitación técnica en mantenimiento a los operarios de producción para que llevaran a cabo las tareas básicas de mantenimiento de la maquinaria o equipos a su cargo.

Esta filosofía nació al existir la necesidad de ejecutar un mantenimiento con un impacto económico menor que el existente en el preventivo.

El surgimiento de la automatización aportó en esta práctica, ya que era posible que los operarios observaran las mediciones o indicadores presentes en sus equipos y así conocer su estado a grandes rasgos.

TPM no solo consiste en una práctica para integrar en tareas de mantenimiento a los operarios, puesto que se trata de una filosofía verdadera de trabajo, soportada en la idea de que si existen procesos que aportan pérdidas o fallas en la empresa, ningún plan de mantenimiento puede llegar a resultar efectivo.

Por lo tanto, el objetivo de este concepto fue desarrollar habilidades competitivas en cada una de las áreas de la organización, al identificar y eliminar las deficiencias presentes.

Dentro de la evolución del mantenimiento, el TPM puede considerarse como una metodología integral, puesto que contiene al mantenimiento correctivo, preventivo y a la gestión de calidad.

3.1.5 Década de 1980: Mantenimiento RCM. No sólo Japón obtuvo protagonismo en la evolución del mantenimiento tras la creación del TPM, Estados Unidos fue también clave, pues partiendo de la metodología predictiva, introdujo la práctica RCM (Reliability Centered Maintenance) y fue creada por la empresa United Airlines. En la década de 1960, la aviación comercial era noticia mundial con frecuencia, pues eran comunes los accidentes aéreos y con ello un gran número de vidas perdidas. Se habla que los accidentes sufridos alcanzaban los 60 por millón de despegues y la causa más común fue la falla de equipos.

Por tal motivo, fue necesario reinventar el programa de mantenimiento que también era aplicado en la industria.

Los técnicos sólo cambiaban piezas cada cierto tiempo aplicando mantenimientos preventivos.

Antes de introducir la predicción, se probó en primer lugar el aumentar la frecuencia del cambio de piezas, pero la tasa de accidentes no se vio reducida y peor aún, se observó un incremento.

Con base en lo anterior, se dio inicio a una ardua investigación que tomó aproximadamente 20 años hasta darse por finalizado al generar el reporte que presentó el método RCM como la solución.

El estudio se fundamentó en someter a pruebas en condiciones distintas a los componentes presentes en los aviones y así determinar la vida útil de cada uno. Los

planes más seguros y menos costosos consistieron en aplicar este método a todos los activos de la industria.

La técnica tenía como objetivo determinar lo que debía realizarse, con tal de asegurar que un componente físico continuara desempeñando las actividades para las cuales fue diseñado, cumpliéndolas según el rendimiento y condiciones de operación deseadas.

Se cambió el paradigma que consistía en cambiar piezas sin ningún criterio técnico, y se introdujo el tener que identificar componentes críticos que se ven degradados con el uso. Ser capaces de predecir averías en equipos o elementos de máquina, de acuerdo al contexto de operación y en ciertas condiciones, para finalmente ajustar de manera proactiva las actividades de mantenimiento.

3.2 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO EN EL TRANSPORTE DE CARGA.

En el país y sobre todo en el transporte de carga el mantenimiento es visto como un gasto y no como una inversión y de esta manera se subvalora el trabajo del personal que pertenece a esta área, adicional a esto no se realiza la inversión necesaria para mantener los equipos en buen estado, lo que hace que el mantenimiento tienda a ser en su mayoría más correctivo reactivo que a preventivo o predictivo, lo que en muchos casos hace más costosas las reparaciones de cada uno de los equipos, cada vez más las empresas en el país se están enfocando y dedicando recursos para mejorar el mantenimiento de los vehículos de modo que el costo del transporte de carga genere una mejor utilidad y confiabilidad en las carreteras, de este modo se tiene personal calificado encargado y responsable de cada uno de los componentes que intervienen en la cadena del transporte de carga pesada.

3.2.1 Mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo en las flotas de transporte se utiliza para las piezas que se dejan llegar a falla para realizar el cambio de la misma, adicional no es deseado para elementos, repuestos o sistemas que puedan generar varadas del vehículo, o peor aún que puedan ocasionar algún accidente en la vía, por tal motivo este mantenimiento solo se puede aplicar a los elementos que no son críticos y que se pueden cambiar o solucionar de manera rápida sin generar altos costos como lo son el cambio de una plumillas, el cambio de bombillos entre otros.

3.2.2 Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo es el más comúnmente utilizado debido a que en mantenimiento automotriz se debe enfocar a realizar tareas o actividades de manera rutinaria basada en las frecuencias de kilómetros recorridos u horas de servicio de la máquina, el tal motivo es muy práctico generar paquetes de mantenimiento basado en la frecuencia del cambio de aceite y filtración de los vehículos, y de esta manera poder realizar un mejor control del mantenimiento, en la actualidad se vive revisando y analizando la manera de alargar los periodos de cambio de elementos de manera que se pare el vehículo lo más poco y que el costo del mantenimiento medido en el costo del mantenimiento versus los kilómetros recorridos u horas trabajadas sea lo más bajo posible.

3.2.3 Mantenimiento Predictivo. El mantenimiento predictivo en el sector automotriz y del transporte de carga se basa en el análisis de aceite y fluidos como lo son el aceite motor, de transmisión y diferenciales, al igual que el análisis del refrigerante para de esta manera poder determinar y predecir la ocurrencia de futuras fallas basados en los componentes encontrados en cada una de las muestras, en estas se puede determinar la contaminación del aceite, el desgaste de las piezas metálicas del componente analizado y el estado del aceite, en mantenimiento automotriz también es posible realizar análisis termográfico, videoscopia, análisis de gases como técnicas predictivas.

3.2.4 Mantenimiento autónomo. Cada vez es más imperativo poder tener con conductores que tengan conocimiento y nociones de mantenimiento automotriz, es por esta razón que es fundamental ahondar en el mantenimiento autónomo ya que el operador o conductor del vehículo es la persona que está en contacto directo con el vehículo y que basado en su experiencia puede realizar determinadas actividades de mantenimiento como son las de inspeccionar a modo de preoperacional antes de realizar cada viaje todos los componentes del motor como lo son los niveles de los fluidos más relevantes como el aceite motor, aceite de la dirección, nivel de líquido refrigerante, estado de las correas tanto de motor como del aire acondicionado, verificación de fugas presentes, estado de bandas de freno, estado de luces entre otros.

El mantenimiento autónomo es un pilar fundamental y muy importante a tener en cuenta a la hora de realizar programaciones e intervenciones posteriores a los vehículos, es por esta razón que es muy necesario capacitar a los conductores en esta labor.

3.2.5 Telemetría. La telemetría está siendo muy utilizada en la actualidad ya que los vehículos tienen control de diferentes variables en el motor del vehículo gracias al módulo electrónico, esto a su vez se enlaza con un sistema satelital para llevar el control de la operación del equipo durante todo el viaje del vehículo y de esta manera poder realizar trazabilidad del viaje y de la conducción, de esta manera es posible determinar las posibles fallas que puedan estar ocurriendo durante el recorrido y tomar los correctivos necesarios; esto también es altamente utilizado para llevar un control más estricto en el mantenimiento del motor y el control del combustible del vehículo.

3.3 GENERALIDADES DE COMPONENTES DE UN VEHÍCULO DE CARGA.

3.3.1 Motor. El motor es el componente encargado de proveer la potencia para poder mover la carga por medio del vehículo, para este caso trabajaremos con un motor Diesel marca Cummins ISX 435.

3.3.2 Transmisión. La transmisión es el componente encargado de bajar las revoluciones del motor y convertirlo en par motor según la velocidad que tenga el vehículo y se opera de acuerdo a los cambios que según engranajes puede tener para determinada configuración del tractocamión. Las más comunes son las de 10, 15 y 18 velocidades o relaciones; esta está compuesta por un conjunto de piñones.

3.3.3 Diferenciales. Las diferenciales son los componentes que reciben la potencia de la transmisión y la entregan a las ruedas del vehículo para generar la tracción y dar el movimiento a las llantas del vehículo para generar el movimiento, este es un conjunto de piñones, corona y speed y piñones planetarios.

3.3.4 Dirección. La dirección es el sistema compuesto por la caja de la dirección, bomba hidráulica, conjunto timón o volante y caña de dirección, conjunto de barras y terminales, los cuales en son los encargados orientar el vehículo según el mando dado por el conductor para conducir el vehículo.

3.3.5 Frenos. Los frenos son el sistema que permite disminuir la velocidad del vehículo cada vez que se requiere detener o parquear; este sistema lo componen la bomba de freno, las válvulas, bandas o pastillas de freno, campanas o discos de freno, mangueras y bombona o cámaras de freno.

3.3.6 Suspensión. El sistema de suspensión es el encargado de acoplar el chasis al sistema de las ruedas del vehículo, dar la amortiguación y mantener las ruedas en contacto con la carretera, y está compuesto dependiendo de la tecnología ya sea suspensión neumática (bombonas o bolsas de aire) o suspensión rígida (Muelles o ballestas).

3.3.7 Eléctrico. El sistema eléctrico está compuesto por todos los componentes que permiten al vehículo mantener y controlar todos los dispositivos eléctricos y electrónicos tales como las luces, los módulos de control de componentes y sensores de cabina y motor, entre otros.

3.3.8 Chasis. El chasis es la base estructural del vehículo en el que se montan todos los demás componentes y sistemas, es el que da la estructura y el que soporta la carga que es transportada por el camión.

4. RECOPIACION Y ANALISIS DE INFORMACION

4.1 HISTORIAL DE FALLAS DE LOS TRACTO CAMIONES EN EL COMPONENTE MOTOR

Las fallas más comunes en los tracto camiones en el componente del motor están relacionadas con los periféricos del sistema de combustible y otros que lo componen como lo son los inyectores, actuadores, toberas, Intercooler, las bombas de inyección de precarga y la bomba principal de combustible, filtros de aire, filtros de combustible, mangueras de combustible, tanque de combustible; todas estas fallas afectan el rendimiento de combustible si no se tiene un buen plan de mantenimiento. Basados en el seguimiento de dos vehículos de una flota de transporte se logra tener el siguiente historial de las fallas mas comunes en las rutas que se realizan frecuentemente por dicha empresa.

Cuadro 3. Fallas más comunes en motor Diesel ISX

Fecha	Vehiculo	Ruta	Falla
15/02/2020	Veh01	Bucaramanga - Bogota	Daño solenoide
4/03/2020	Veh02	Bucaramanga - Barranquilla	Fuga de combustible por Bomba principal de combustible
20/03/2020	Veh01	Bucaramanga - Cucuta	Perdida de potencia, daño inyector 1
14/04/2020	Veh01	Bogota - Bucaramanga	Perdida de potencia Intercooler roto
25/04/2020	Veh02	Cucuta - Bucaramanga	Perdida de potencia, filtro de combustible saturado
12/05/2020	Veh02	Barranquilla - Bucaramanga	Manguera de combustible rota
3/06/2020	Veh01	Bucaramanga - Bogota	Perdida de potencia, daño en sensor de posicion del arbol de levas
12/07/2020	Veh02	Bogota - Bucaramanga	Perdida de potencia, filtros de aire saturados
2/08/2020	Veh02	Bucaramanga - Cucuta	Perdida de potencia, filtro de combustible saturado
22/08/2020	Veh01	Bucaramanga - Barranquilla	Perdida de potencia, daño en actuador 1
10/09/2020	Veh02	Cucuta - Bucaramanga	Fuga de combustible por tobera inyector 2
30/09/2020	Veh02	Barranquilla - Bucaramanga	Perdida de potencia, daño inyector 5
25/10/2020	Veh01	Bucaramanga - Bogota	Fuga de combustible por filtro trampa
12/11/2020	Veh02	Cucuta - Bucaramanga	Perdida de potencia por daño de actuadores
27/11/2020	Veh01	Bogota - Bucaramanga	Perdida de potencia por manguera porosa del intercooler
5/12/2020	Veh02	Bucaramanga - Cucuta	Perdida de potencia, filtros de aire saturados

4.2 DISTRIBUCION DE COSTO EN EL TRANSPORTE DE CARGA

4.2.1 Costos fijos en el transporte de carga. Como su nombre lo indica los costos fijos son aquellos que no dependen del recorrido del vehículo y por lo tanto son fijos en una ruta en un periodo de tiempo, estos costos comprenden salarios y prestaciones con un 63,93%, seguros con un 27,40%, parqueadero con un 2,74%, impuestos con un 1,37%, y otros con un 4,56 para completar el 100% de los costos fijos. Analizados en ruta Barranquilla Bogotá⁹.

4.2.2 Costos variables en el transporte de carga. Como su nombre lo indica los costos variables en el transporte de carga dependen del recorrido del vehículo, la carga transportada, la topografía de la ruta, la conducción del vehículo entre otros; entre estos costos tenemos el combustible con un 67,92%, los peajes con un 18,11%, llantas con un 3,39%, lubricantes con un 1,13% y otros costos variables con un 9,43% para completar el 100% de los costos variables Analizados en ruta Barranquilla Bogotá¹⁰.

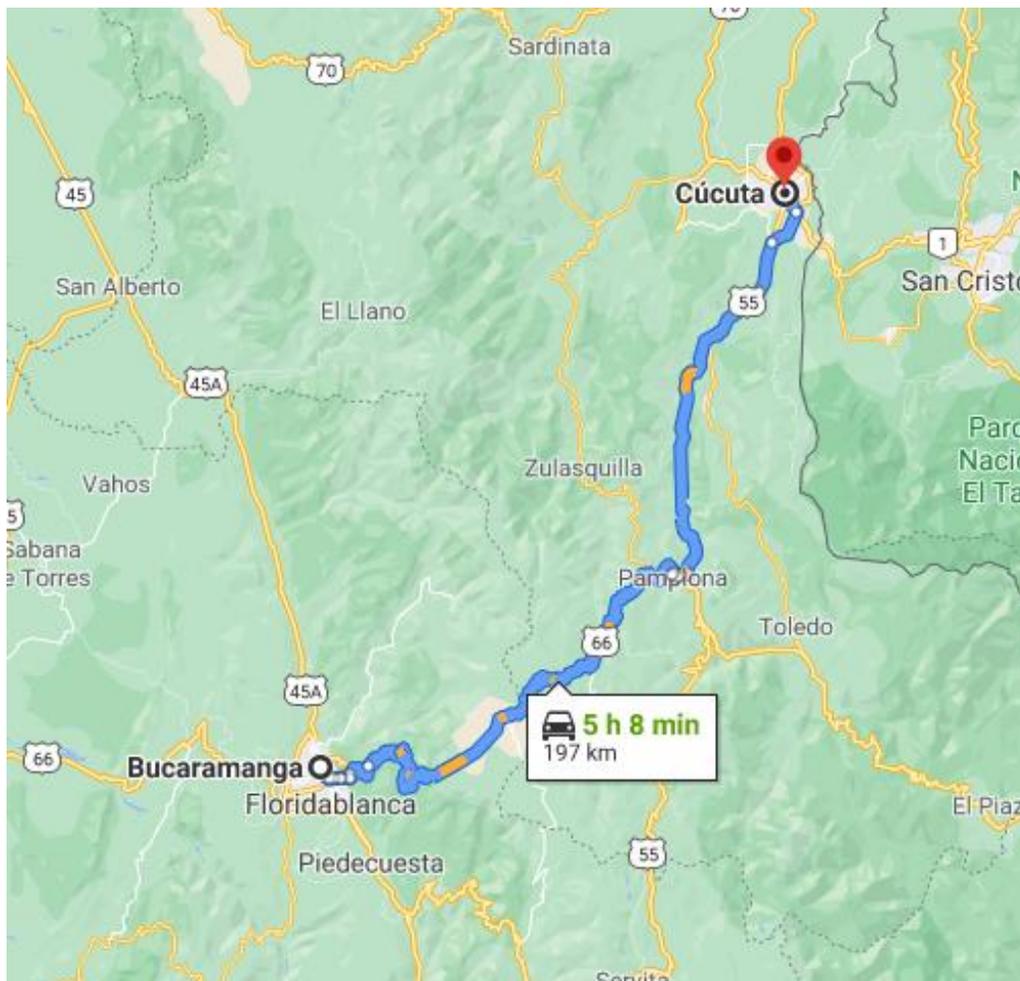
⁹ SILVERA ESCUDERO, Rodolfo E y MENDOZA VALENCIA, Dannys. Costos logísticos del transporte terrestre de carga en Colombia. 1 ed. Barranquilla: Servicio Nacional de Aprendizaje, 2017.p.145.

¹⁰ Ibid., p. 146.

4.3 RUTAS ANALIZADAS

4.3.1 Ruta Bucaramanga – Cúcuta. Esta ruta es de suma importancia analizar ya que su topografía es de una complejidad alta y para el sector del transporte en Colombia es muy importante por los productos y material que se mueve desde y hacia el resto del país, adicional tiene una topografía muy especial ya que se requiere subir al alto del picacho iniciando desde los 950 metros de altura sobre el nivel del mar a cerca de 3500 metros de altura sobre el nivel del mar.

Figura 3. Ruta Bucaramanga – Cúcuta.



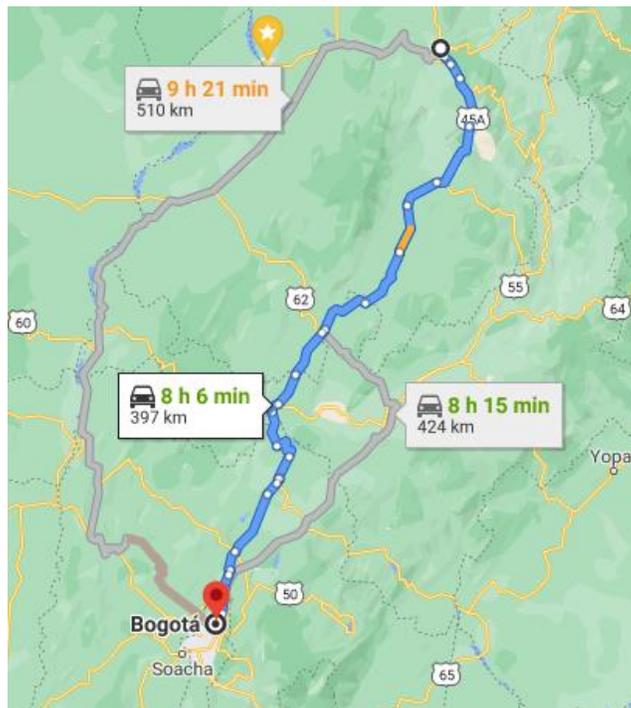
Fuente. GOOGLE MAPS. Ruta Bucaramanga – Cúcuta. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/xxgtz>.

Figura 4. Topografía de la ruta Bucaramanga – Cúcuta



4.3.2 Ruta Bucaramanga – Bogotá. Esta ruta es una ruta muy importante en el país por los productos que se mueven desde y hacia la capital del país desde Bucaramanga, adicional presenta una topografía muy especial ya que tiene el paso por el famoso cañón del Chicamocha, pasando de una altura de los 950 metros de altura sobre el nivel del mar a cerca de los 3070 metros sobre el nivel del mar.

Figura 5. Ruta Bucaramanga – Bogotá.



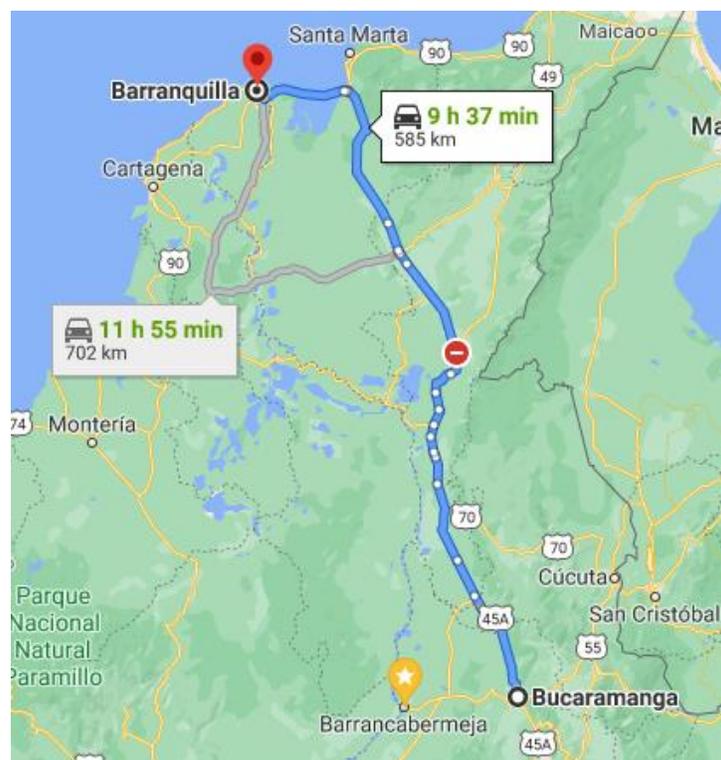
Fuente. GOOGLE MAPS. Ruta Bucaramanga – Bogotá. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/S5luT>.

Figura 6. Topografía de la ruta Bucaramanga – Bogotá



4.3.3 Ruta Bucaramanga – Barranquilla. Esta ruta es una ruta muy importante en el país por los productos que se mueven desde y hacia la costa atlántica desde Bucaramanga, esta ruta presenta una topografía de terreno plano en su gran mayoría, pues solo hay variación de 950 metros de altura sobre el nivel del mar a 0 metros sobre el nivel del mar.

Figura 7. Ruta Bucaramanga – Barranquilla.



Fuente. GOOGLE MAPS. Ruta Bucaramanga – Barranquilla. [En línea]. Disponible en: <https://acortar.link/baqAg>.

Figura 8. Topografía de la ruta Bucaramanga – Barranquilla



5. MODELO PROPUESTO

5.1 PLAN DE RUTAS Y PARAMETRIZACIONES

5.1.1 Consideraciones para parametrizar una ruta. Para la realización de una parametrización de una ruta es necesario seguir una serie de consideraciones para nuestro plan de trabajo definimos las siguientes:

- Seleccionar vehículos de la misma línea y motor que tengan buenas condiciones mecánicas y que sean electrónicos de modo que se pueda descargar al inicio y al final de la ruta la información de manejo y parámetros del módulo del motor.
- Realizar rutas con recorridos superiores a 200 kilómetros.
- Seleccionar conductores de confianza para la empresa que tengan buena experiencia y buen manejo del vehículo.
- Definir los parámetros de inicio y final de la ruta en donde se pueda realizar tanqueo inicial y final.
- Cargar el vehículo con la misma carga ya que las condiciones deben ser iguales para cada uno de los realizados en la parametrización de las rutas.
- Realizar las rutas en lo posible en el mismo horario debido a que al tener las vías más congestionadas en las que se requiera más detenciones y maniobras aumenta el consumo de combustible.

5.2 RECOLECCION DE DATOS DE LOS MANTENIMIENTOS Y PARAMETRIZACIONES

5.2.1 Toma de datos de mantenimiento. Se consolida el historial de los mantenimientos realizados durante todo el año 2020 en los cuales se realizan énfasis en las intervenciones realizadas a todos los componentes que afectan el rendimiento de combustible, entre las fallas que mayor incidencia generan se recopilan en el cuadro 4.

Cuadro 4. Fallas más comunes que afectan el consumo de combustible.

Actividades mantenimiento motor
Inspección fan clutch (estado asbesto y libre rotación)
Inspección patín tensor correa y correa fan clutch
Corregir fugas ACPM en motor
Prueba termostatos de refrigerante
Prueba hermeticidad sistema de refrigeración
Mantenimiento radiador refrigeración motor
Inspección posenfriador, abrazaderas y líneas admisión de aire
Lavado de radiador y posenfriador exteriormente
Inspección circuito neumático restrictor aire admisión
Inspección turbo (juego radial, axial y paso aceite)
Inspección funcionamiento control crucero y freno de motor
Inspección funcionamiento bomba de transferencia (eléctrica)
Diagnostico con software Insite (modulo ECM)
Mantenimiento (lavado) sistema de inyección
Inspección amés motor, sensores y conectores
Inspeccionar y verificar funcionamiento temperatura refrigerante

5.2.2 Toma de datos de las parametrizaciones. Se realizaron parametrización de tres rutas nacionales de gran importancia para el transporte de carga como lo son, Bucaramanga – Barranquilla, Bucaramanga – Bogotá, Bucaramanga – Cúcuta, entre otras. Ver Cuadro 5.

5.3 MANEJO DE LA INFORMACION DE LOS MANTENIMIENTO Y LAS PARAMETRIZACIONES REALIZADAS

5.3.1 Análisis de la información de las parametrizaciones realizadas por las vías nacionales en los tractocamiones. Según las rutas analizadas se tiene un resumen el siguiente cuadro de los rendimientos analizados.

Cuadro 5. Rendimientos de rutas nacionales parametrizadas

PLACA	KM RECORRIDO	TANQUEO	RENDIMIENTO	DESTINO
Veh01	221	33.211	5.21	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh02	227	27.738	5.26	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh01	213	27.503	5.06	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh02	212	30.705	5.00	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh01	252	32.000	5.01	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh02	220	30.000	5.21	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh01	256	30.026	5.74	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh02	238	34.095	5.96	BUCARAMANGA - CUCUTA
Veh01	435	63.000	7.88	BUCARAMANGA - BARRANQUILLA
Veh02	430	63.000	7.33	BUCARAMANGA - BARRANQUILLA
Veh01	404	64.050	8.53	BUCARAMANGA - BARRANQUILLA
Veh02	404	64.211	7.74	BUCARAMANGA - BARRANQUILLA
Veh01	584	93.448	6.25	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh02	666	115.948	6.90	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh01	598	114.879	6.65	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh02	667	126.699	6.98	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh01	617	121.872	6.90	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh02	592	118.505	6.83	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh01	587	117.116	5.95	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh02	610	117.116	5.95	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh01	772	125.742	6.25	BUCARAMANGA - BOGOTA
Veh02	757	127.097	6.14	BUCARAMANGA - BOGOTA

De acuerdo con la información recopilada en el cuadro 5, se evidencia la influencia directa de la topografía en el indicador del consumo de combustible en los vehículos; las variaciones presentes son producto del manejo, la congestión que pudo haberse presentado entre un viaje u otro, las pequeñas variaciones de la carga, entre otras.

5.3.2 Análisis criticidad de los componentes y periféricos de motor. De acuerdo con el historial de mantenimientos y los componentes del motor junto con sus periféricos, se realiza un análisis de criticidad de estos para determinar y enfocar el plan de mantenimiento en los más críticos, de este análisis se tiene la información recopilada en el cuadro 6.

Cuadro 6. Evaluación de criticidad para el análisis de los componentes.

Evaluación de criticidad de cada componente en el consumo de combustible								
Componente	Legal	Seguridad	Calidad	Operación	Disponibilidad	Consecuencia	Frecuencia	Resultado
Fan clutch	1	2	1	5	3	2.4	3	7.2
Filtro de aire	1	1	1	2	2	1.4	5	7
Filtro de combustible	1	1	1	2	2	1.4	5	7
Válvula solenoide corte	1	3	1	2	2	1.8	3	5.4
Turbo	1	2	1	5	3	2.4	2	4.8
Patín tensor	1	2	1	4	3	2.2	2	4.4
Intercooler	1	3	1	3	3	2.2	2	4.4
Bomba de inyección	1	3	1	3	3	2.2	2	4.4
Termostato de refrigerante	1	3	1	2	3	2.0	2	4
Inyectores	1	3	1	2	3	2.0	2	4
Compresor	1	2	1	2	3	1.8	2	3.6
Actuadores	1	3	1	2	2	1.8	2	3.6
Bomba de agua	1	2	1	5	4	2.6	1	2.6
Ventilador	1	2	1	2	3	1.8	1	1.8
Correa motor	1	1	1	2	2	1.4	1	1.4
Radiador y mangueras	1	2	1	1	2	1.4	1	1.4
Restrictor aire	1	2	1	1	2	1.4	1	1.4
Modulo motor (ECM)	1	2	1	1	2	1.4	1	1.4
Tanque auxiliar radiador	1	1	1	1	2	1.2	1	1.2
Templetes radiador	1	1	1	1	1	1.0	1	1
Soportes radiador	1	1	1	1	1	1.0	1	1
Múltiple de escape	1	1	1	1	1	1.0	1	1

Para realizar la evaluación de criticidad de cada uno de los elementos, componentes y periféricos del motor basado en la matriz de criticidad que se desarrolló en el cuadro 7.

Cuadro 7. Matriz de criticidad para el análisis de los componentes de motor.

MATRIZ DE CRITICIDAD										
FRECUENCIA FALLAS	5	5	7.5	10	13	15	18	20	23	25
	4	4	6	8	10	12	14	16	18	20
	3	3	4.5	6	7.5	9	11	12	14	15
	2	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
		1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
	CONSECUENCIA									

5.3.3 Análisis de los mantenimientos y fallas recurrentes más reportadas en los dos vehículos analizados en el 2020. Según los reportes y las fallas reportadas para los vehículos Veh01 y Veh02 se encuentra que las pérdidas de potencia más frecuentes y que adicional influyen en el aumento de consumo de combustible en los vehículos, son las que tienen que ver con los filtros de combustible y de aire saturados, daños en mangueras e intercooler a causa de porosidades, fallas en inyectores, actuadores, e inyectores que en general terminan siendo a causa de impurezas que ingresan al tanque de combustible y al sistema de inyección de combustible, producto de contaminación al momento de “tanquear”, filtración deficiente e insuficiente tanto en las estaciones de servicio como en el mismo vehículo o por falta de mantenimiento a los tanques y al sistema mismo.

5.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PARA UNA FLOTA DE TRACTO CAMIONES

5.4.1 Mantenimiento de primer nivel del plan de mantenimiento. Este mantenimiento es que está a cargo del mismo operador o conductor del vehículo, ya que son actividades que no requieren gran destreza o algún conocimiento específico u avanzado en mecánica, electricidad, hidráulica, entre otras, y estas tiene que ver con verificaciones de niveles, inspecciones, y pequeños ajustes que se realizan antes de iniciar cada viaje, tanto con el vehículo apagado como posteriormente encendido y que están estipuladas en los preoperacionales del vehículo como se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Actividades de primer nivel

Actividades Primer Nivel Motor
Inspección y comprobación enganche manual fan clutch
Inspección patín tensor correa y correa principal
Inspección ventilador, soporte ventilador y enfocador
Inspección motor por fugas de aceite, ACPM o refrigerante
Inspección deposito refrigerante, radiador y mangueras (fugas)
Inspección estado mangueras y apriete abrazaderas
Inspección soportes y templetes radiador
Inspección mangueras radiador
Inspección posefriador, abrazaderas y líneas admisión de aire
Verificar funcionamiento control crucero y freno de motor
Verificar funcionamiento microswitch clutch
Verificar funcionamiento bomba de transferencia (eléctrica)
Inspección arnés motor, sensores y conectores
Verificar funcionamiento temperatura refrigerante
Verificar funcionamiento temperatura aceite motor
Verificar funcionamiento temperatura aire admisión
Verificar funcionamiento sensor velocidad motor
Verificar funcionamiento del pirómetro
Verificar funcionamiento presión aceite motor
Inspección fuga gases escape por múltiple o empaque turbo
Revisar niveles de aceite motor y refrigerante
Verificar tensión correas

5.4.2 Mantenimiento predictivo del plan de mantenimiento. A los componentes del motor es posible realizar ciertas actividades predictivas para determinar el estado y de esta manera podernos adelantarnos a las fallas, lograr proyectarnos al mantenimiento que se deba realizar a futuro verificando el estado actual del componente u elemento analizado, las actividades que es posible revisar y analizar están recopiladas en el cuadro 9.

Cuadro 9. Actividades de mantenimiento predictivo en el motor.

Actividades de Mantenimiento Predictivo al Motor
Analisis de aceite motor
Analisis de pureza del combustible
Analisis de estado del refrigerante
Prueba termostatos de refrigerante
Prueba hermeticidad sistema de refrigeración
Prueba de hermeticidad sistema de admisión
Calibración bomba de inyección
Diagnostico con software Insite (modulo ECM)
Diagnostico contribución de inyectores (Con software)
Videoscopia al estado de los cilindros del motor

5.4.3 Personal necesario para el mantenimiento. En el mantenimiento automotriz es de suma importancia tener personal calificado para la administración y la ejecución del mantenimiento, es por esto que se debe tener como mínimo un jefe de mantenimiento, un supervisor de mantenimiento, un planeador de mantenimiento, un auxiliar administrativo de mantenimiento, técnicos y auxiliares mecánicos y eléctricos, de acuerdo a las necesidades y tamaño de la flota, para de esta manera poder cubrir todas las áreas y dar el soporte adecuado a la operación de una manera coordinada y eficiente.

Es importante mencionar que, debido a la complejidad de las actividades o mantenimientos, la necesidad de herramientas y ambientes especiales, o la necesidad de personal altamente calificado se debe contar con talleres externos

aliados en los que se realicen dichos trabajos como lo son las reparaciones de motor, transmisión, diferenciales, de sistemas de inyección, radiadores, electrónicas, entre otras.

5.4.4 Compras y almacén para el mantenimiento en una flota de transporte de carga. Para la realización eficiente, de calidad y oportuna del mantenimiento de una flota de tractocamiones en una flota de transporte de carga es fundamental y necesario contar con un departamento de compras y un almacén que satisfaga las necesidades de los repuestos requerido en el área, es por esto que mantenimiento debe trabajar de la mano con esta área para sacar adelante las compras mínimas requeridas en los mantenimientos, basados en las necesidades, los modelos, la rotación, la disponibilidad del mercado, y los costos entre otros.

La disponibilidad y la mantenibilidad dependen de la rapidez con la que se compren o se tengan almacenados los repuestos fundamentales en el mantenimiento, es por esto por lo que es imperativo tenerlos disponibles. Adicional a lo mencionado es fundamental para la confiabilidad contar con los repuestos adecuados y de calidad. En el área de almacén es posible tener repuestos de varios proveedores en consignación para de esta manera tener la disponibilidad de estos sin aumentar los costos de los inventarios; también cabe la posibilidad de tener una bodega de repuestos reparados de modo que cuando el vehículo llegue para un mantenimiento no se pierda tiempo y solo sea quitar que ha fallado y poner el reparado.

5.4.5 Plan general de mantenimiento para el motor de un tracto camión. El plan de mantenimiento general para un tracto camión que se ha diseñado comprende todas las actividades que según la experiencia y la indagación con técnicos de varias empresas se deben realizar para obtener un excelente rendimiento del equipo, logrando una deseada disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad en una empresa de transporte de carga, basado en lo mencionado anteriormente se diseña un plan de mantenimiento expuesto en el cuadro 10.

Este plan de mantenimiento fue realizado para un motor ISX, basado en un aceite de una marca específica que permite realizar el cambio de aceite a los 15.000 kilómetros, de ahí viene la frecuencia seleccionada, y se basa en actividades recomendadas del manual de operación y mantenimiento como de actividades producto de la experiencia, cabe mencionar que el plan puede variar según las condiciones de operación del vehículo, el tipo de aceite motor y los insumos utilizados, por tal motivo es importante antes de implementarlo en alguna flota en especial, verificar las condiciones ambientales, topográficas y los modelos de los vehículos para no llegar a cometer errores.

Cuadro 10. Plan de mantenimiento para motor ISX.

PLAN DE MANTENIMIENTO COMPONENTES MOTOR PARA UN TRACTO CAMION								
Actividades mantenimiento motor	M1 15000	M2 30000	M1 45000	M3 60000	M1 75000	M2 90000	M1 105000	M4 120000
Inspección fan clutch	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección y comprobación enganche manual fan clutch	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio o reparación fan clutch								X
Inspección patín tensor correa y correa fan clutch	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio y/o reparación patín tensor correa fan clutch								X
Cambio y/o cambiar correa motor				X				X
Inspección ventilador, soporte ventilador y enfocador	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección motor por fugas de aceite, ACPM o refrigerante	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar y/o corregir fugas aceite motor				X				X
Revisar y/o corregir fugas ACPM en motor				X				X
Revisar y/o corregir fugas refrigerante en Motor				X				X
Inspección bomba de agua por juego excesivo y fuga refrigerante	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección correa bomba de agua y polea	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección depósito refrigerante, radiador y mangueras (fugas)	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección estado mangueras y apriete abrazaderas refrigeración	X	X	X	X	X	X	X	X
Cambio y/o reparación bomba de agua								X
Revisar y/o cambiar correa bomba de agua				X				X
Revisar y/o cambiar polea y/o patín tensor bomba de agua				X				X
Cambio y/o reparación radiador de refrigerante								X
Prueba termostatos de refrigerante								X
Prueba hermeticidad sistema de refrigeración								X
Revisar y/o cambiar tanque auxiliar radiador								X
Mantenimiento radiador refrigeración motor								X
Revisar y/o cambiar manguera y/o abrazaderas sistema refrigeración motor				X				X
Inspección soportes y templetes radiador	X	X	X	X	X	X	X	X
Ajuste soportes y templetes radiador				X				X
Inspección soportes mangueras radiador (superior e inferior)	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección posenfriador, abrazaderas y líneas admisión de aire	X	X	X	X	X	X	X	X
Prueba de hermeticidad sistema de admisión (incluido CAC)				X				X
Cambio y/o reparación Posenfriador (CAC)				X				X
Lavado de radiador y posenfriador exteriormente	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisión y/o reparación intercooler				X				X
Inspección circuito neumático restrictor aire admisión	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisión ducto y/o abrazaderas sistema de admisión aire		X		X		X		X
Inspección turbo (juego radial, axial y paso aceite)				X				X
Inspección recorrido pedal acelerador y balinera	X	X	X	X	X	X	X	X
Mantenimiento varillaje pedal acelerador		X		X		X		X
Inspección funcionamiento control crucero y freno de motor	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección funcionamiento microswitch clutch	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección estado soportes traseros y delanteros motor	X	X	X	X	X	X	X	X
Torque soportes delanteros y traseros motor		X		X		X		X
Calibración bomba de inyección				X				X
Revisión y/o reparación bomba combustible de engranajes (ISX)								X
Inspección funcionamiento bomba de transferencia (eléctrica)	X	X	X	X	X	X	X	X
Diagnostico con software Insite (modulo ECM)				X				X
Mantenimiento (lavado) sistema de inyección				X				X
Diagnostico contribución de inyectores (Con software)				X				X
Evaluar desgaste interno motor (Blow By)								X
Calibración válvulas, inyectores y freno de motor								X
Revisión y/o reparación de inyectores								X
Inspección arnés motor, sensores y conectores	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección estado desfogue motor (limpieza)	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspeccionar y verificar funcionamiento temperatura refrigerante	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspeccionar y verificar funcionamiento temperatura aceite motor	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspeccionar y verificar funcionamiento temperatura aire admisión	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspeccionar y verificar funcionamiento sensor velocidad motor	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspeccionar y verificar funcionamiento del pirómetro	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspeccionar y verificar funcionamiento presión aceite motor	X	X	X	X	X	X	X	X
Prueba termostato de aceite motor				X				X
Diagnostico alabeo damper (visual)				X				X
Inspección alabeo damper (guía manual Cummins)	X	X	X	X	X	X	X	X
Inspección fuga gases escape por múltiple o empaque turbo	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar fuga gases escape por múltiple o empaque turbo		X		X		X		X
Mantenimiento válvula solenoide corte combustible				X				X
Inspección funcionamiento válvulas reguladores presión combustible	X	X	X	X	X	X	X	X
Revisar accesorios sistema motor		X		X		X		X
Análisis de aceite motor	X	X	X	X	X	X	X	X
Análisis de pureza del combustible				X				X
Análisis de estado del refrigerante		X		X		X		X
Videoscopia al estado de los cilindros del motor								X

6. CONCLUSIONES

Se genera un plan de mantenimiento preventivo y predictivo basado en parametrización de rutas y condiciones necesarias para los motores Diésel y los periféricos que inciden en el rendimiento de combustible de los tractocamiones.

Se cumple con el objetivo de analizar el rendimiento de combustible, basados en la parametrización de las rutas nacionales, y su implicación dada por la carga, la topografía, y el buen mantenimiento del motor y cada uno de sus periféricos que afectan en mismo.

Se muestra la incidencia en la industria del transporte de carga los costos y el rendimiento de combustible y se crea un plan de mantenimiento adecuado.

BIBLIOGRAFIA

AGÜERO, Alva y L. Hugo. Introducción a la Ingeniería Automotriz. Lima: Universidad Tecnológica del Perú, 2017.

BORRAS PINILLA, Carlos. Principios de mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011

CASTELLANOS RAMÍREZ, Andrés. Manual de gestión logística del transporte y distribución de mercancías. Barranquilla: Ediciones Uninorte, 2009. ISBN: 978-958-741-001-3.

FERNÁNDEZ RAMÍREZ, Luis Adrián. Guía del curso de conducción técnico económica. México, 2010.

MECÁNICA VEHÍCULOS PESADOS: manual de enseñanza programada [Anónimo]. Madrid: Pons Editorial.

MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. 3ª ed. Medellín: Coldi, 2016. p.17. ISBN: 978-958-98902-0-2.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. p.202. ISBN: 09539603-2-3.

NORMA SAE JA 1011. [En línea]. [Consulta el 28 de abril 2021]. Disponible en: https://www.academia.edu/25456562/NORMA_PARA_JA1011_VEH%C3%8DCULOS_AEROESPACIALES

ORTIZ MONTANEZ, Edgar Augusto y PUENTES PUENTES, Edwin Martin. Alternativas para reducir el consumo de combustible y emisiones de gases de escape en motores de combustión interna fase I. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Bucaramanga.: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, 1993.

RAFFINO, María E. Transporte de carga En: CONCEPTO.DE. [sitio web]. Argentina. [Consulta 15 de mayo 2021]. Disponible en: <https://concepto.de/transporte-de-carga/>.

SILVERA ESCUDERO, Rodolfo E y MENDOZA VALENCIA, Dannys. Costos logísticos del transporte terrestre de carga en Colombia. 1 ed. Barranquilla: Servicio Nacional de Aprendizaje, 2017. ISBN 978-958-15-0264-6.

VOLVO. Dynafleet: Telemetría en camiones [sitio web]. [Consulta el 24 de mayo 2021]. Disponible en: <https://www.volvotrucks.es/es-es/services/optimized-business/fleet-management.html>.