



ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE VEHICULOS DE CARGA AL APLICAR TECNICAS DE CONDUCCION EFICIENTE

Yenny Andrea Fernández Romero

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Bogotá, Colombia
Año 2020

Análisis de consumo de combustible de vehículos de carga al aplicar técnicas de conducción eficiente

Yenny Andrea Fernández romero

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Electromecánico

Director (a):

Nicolás Giraldo Peralta, I.M., M.Sc., Ph.D.

Línea de Investigación:

Ciencias Térmicas

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá D.C., Colombia

Año 2020

Dedicatoria

A Dios, por darme sabiduría y permitirme haber llegado a tan importante momento de mi formación personal y profesional a pesar de todas las adversidades.

A mis padres María de Carmen por su voz de aliento cuando más lo he necesitado, y su apoyo incondicional y mi padre Miguel Enrique, por su preocupación

A mi hermano Jairo Fernando por sus consejos y apoyo económico en momentos de crisis

A mi hermano Miguel Ricardo quien me brinda su apoyo incondicional.

A mi esposo quien aguanta mi genio y hace su mayor sacrificio para patrocinar mi vida y mi logro académico.

A mis hijos Luisa, Camila, Esteban, quienes son el motivo para continuar mis estudios y dar ejemplo de superación continua cada día.

A mi director de tesis por su apoyo, comprensión, y por ser parte de este proceso.

Y a todos los que me ha dado su voz de ánimo, para seguir creciendo como profesional, y como persona.

Agradecimientos

Agradezco a la Universidad Antonio Nariño por permitirme ingresar al mundo del conocimiento, de la tecnología, de disfrutar ser una estudiante UAN.

Agradezco a profesores, coordinadores y compañeros, y a todas aquellas personas que, durante esta etapa de formación, me acompañaron y aportaron su conocimiento, su paciencia, su dedicación y trabajo. ¡Aún Recuerdo cuando pensé! ¿Por qué escogí esta carrera? Hoy cuando estoy en la puerta para salir, levanto mi frente para decir que lo logré, A pesar de todas las dificultades.

Resumen

En este trabajo se realizó el análisis de consumo de combustible de cinco vehículos mezcladores de cemento, durante la ejecución de un programa de conducción eficiente. Lo anterior, con el fin de determinar si el curso de conducción impartido a los conductores contribuía a que los vehículos fueran operados de mejor manera y así disminuir el consumo de combustible. Se realizó el alistamiento de cada vehículo y del equipo de telemetría, se procedió a operar la flota capturando datos de tres fuentes: administrativas, operacionales y de telemetría. La captura de datos se realizó en dos etapas de tiempo y en el medio de ellas se realizó el curso a los conductores. Se determinó que cinco (5) variables contribuían de manera directa en el consumo de combustible. Se construyeron los indicadores de rendimiento [m^3/L] y [$\text{m}^3.\text{km}/\text{L}$], los cuales son adecuados al tipo de vehículo estudiado y se hizo un tratamiento estadístico a las variables y a los indicadores. Se realizó la comparación de los indicadores de rendimiento tanto antes como después del curso y se encontró desde la estadística, que en la mayoría de vehículos el curso no tuvo un impacto favorable hacia la disminución del consumo de combustible. Se hizo un análisis de regresión multivariada con el fin de establecer la influencia positiva o negativa de las variables en el indicador de consumo de combustible [L] y se encontró que la distancia [km], carga [m^3] y número de viajes aumentan el consumo, y que la variable edad disminuía el consumo. Los resultados permitieron sugerir estrategias y recomendaciones enfocadas a disminuir el consumo de combustible en la flota.

Palabras clave: Eficiencia energética, Analítica de datos, Telemetría, Consumo de combustible, Ecodriving, Conducción Eficiente

Abstract

In this work, fuel consumption analysis of five cement mixer vehicles was performed, during the execution of an ecodriving program. The foregoing, in order to determine if the driving course taught to drivers to operate the vehicles in a better way and thus reducing fuel consumption. Each vehicle were prepared and equipped with a telemetry device and the fleet was operated capturing data from three sources: administrative, operational and telemetry. The data capture was carried out in two time stages and in the middle of them the drivers course was carried out. five (5) variables were determined to contribute directly to fuel consumption. The performance indicators [m^3 / L] and [$\text{m}^3.\text{km}/\text{L}$] were constructed, which are appropriate to the type of vehicle studied and a statistical treatment was made to the variables and indicators. The performance indicators, were compared both before and after the course and it was found from statistics that in the majority of vehicles the course did not have a favorable impact towards reducing fuel consumption. A multivariate regression analysis was carried out in order to establish the positive or negative influence of the variables on the fuel consumption indicator [L] and it was found that distance [km], load [m^3] and number of trips increase the fuel consumption, and that the age variable decreased fuel consumption. The results made it possible to suggest strategies and recommendations aimed at reducing fuel consumption in the fleet.

Keywords: Energy efficiency, Data analytics, Telemetry, Fuel consumption, Ecodriving.

Contenido

Resumen	V
Abstract	VI
Contenido	VII
Lista de figuras	X
Lista de tablas	XI
Lista de Símbolos y abreviaturas	XII
1. Introducción y Antecedentes	13
1.1 Introducción.....	13
1.2 Antecedentes.	14
1.2.1 Demanda de energía a nivel mundial.	14
1.2.2 Demanda de energía en Colombia.	15
1.2.3 Consumo de combustibles líquidos a nivel mundial en flotas del sector del transporte.....	17
1.2.4 Demanda de energía en el sector del transporte.	19
1.2.5 Ahorro de combustible a nivel mundial.	20
1.2.6 Ahorro de combustible a nivel nacional.....	21
1.2.7 Emisiones contaminantes por el transporte.	22
1.2.8 Consumo de combustible de flotas vehiculares.	25
2. Objeto de Estudio	27
2.1 Planteamiento del problema.	27
2.2 Justificación.....	28
2.3 Objetivos.	29
a. Objetivo general.	29
b. Objetivos específicos.....	29
2.4 Marco teórico.	29
2.4.1 Consumo de combustible.	29
2.5 Conducción eficiente.....	33
2.5.1 Factores de la conducción eficiente.....	34
2.5.2 Implementación de la conducción eficiente.....	35
2.5.3 Pautas que se debe abordar en la capacitación de conducción eficiente (ecodriving).	36
2.5.4 Técnicas en la motivación del conductor a realizar curso de ecodriving.....	36
2.5.5 Capacitación en Ecodriving o conducción eficiente.....	38
2.5.6 Errores al manipular la conducción eficiente.....	39
2.5.7 Beneficios de una buena conducción o conducción eficiente.....	39
2.6 Caracterización del conductor.	40
2.6.1 Aplicación de gamificación en la conducción eficiente.	41
2.7 Telemetría usada para monitoreo del consumo de combustible.	42
2.7.1 Aplicaciones de la telemetría.	42
2.7.2 Telemetría en el transporte de carga.	43

2.7.3	Datos arrojados en la telemetría.	44
2.7.4	Instalación de dispositivos.	45
2.7.5	Verificación de dispositivos de telemetría instalados.	45
2.7.6	Referencia de dispositivos.	45
2.7.7	Instalación y tamaño.	45
2.8	Caracterización del vehículo la Mack GU813 mezcladora.	46
2.8.1	Motor la Mack GU813 mezcladora.	47
2.8.2	Carrocería.	47
2.8.3	Caja de velocidades.	48
2.8.4	Características de transmisiones.	48
2.8.5	Bomba hidráulica.	49
3.	Procedimiento descriptivo.	50
3.1	Descripción de datos.	51
3.1.1	Kilometraje.	52
3.1.2	Carga.	52
3.1.3	Consumo.	53
3.1.4	Edad del conductor.	53
3.1.5	Viajes seleccionados.	53
3.2	Indicadores construidos.	53
3.2.1	Rendimiento de combustible.	53
3.2.2	Consumo de combustible.	54
3.2.3	Indicadores de carga.	54
3.3	Recolección de datos.	54
3.3.1	Matriz de distancia.	55
3.3.2	Matriz de consumo.	55
3.3.3	Matriz de carga.	56
3.4	Procesamiento de datos.	57
3.4.1	Organización de datos.	57
3.4.2	Determinación de datos atípicos.	57
3.4.3	Identificación de variables relacionadas con el consumo de combustible.	58
3.4.4	Determinación de indicadores.	60
3.5	Análisis estadístico.	60
3.5.1	Pruebas de normalidad.	60
3.5.2	Pruebas de hipótesis sobre medias.	61
3.5.3	Regresión multivariada.	61
4.	Resultados y Análisis.	62
4.1	Vehículos y conductores.	62
4.1.1	Análisis técnico de vehículos.	62
4.1.2	Análisis de conductores.	63
4.2	Rutas y viajes.	63
4.2.1	Ruta.	63
4.2.2	Análisis de viajes realizados.	65
4.3	Variables de indicadores claves para el estudio.	66
4.4	Datos recolectados.	67
4.5	Indicadores y estadística descriptiva.	67
4.6	Pruebas de normalidad.	69
4.7	Diferencia porcentual de rendimientos.	72
4.8	Pruebas de Hipótesis.	73
4.9	Análisis de Correlación.	75

4.10	Análisis de Regresión Múltiple.....	77
4.11	Variables respecto a las gráficas de correlación.....	79
4.11.1	Consumo Vs Edad.....	79
4.11.2	Consumo vs km recorrido.	79
4.11.3	Consumo vs carga.....	79
4.11.4	Consumo vs viajes.....	79
4.12	Análisis generales basados en resultados.....	80
5.	Estrategias y recomendaciones para bajar el consumo en mezcladores.	84
5.1	Estrategias	84
5.2	Recomendaciones.....	86
6.	Conclusiones.....	87
	Bibliografía.	91
	Anexos	93
A.	Anexo 1 Tabla de Estadística descriptiva.....	93
B.	Pruebas de hipótesis $\mu=\mu_0$ vehiculo349.....	94
A.	Anexo 2 Datos tomados con indicadores.....	96
B.	Anexo 3 Prueba de normalidad.....	97
	Mezcladora 349.....	97
	Mezcladora 351.....	98
	Mezcladora 360.....	99
	Mezcladora 401.....	100
	Mezcladora 446.....	101
D.	Anexo 4 Histogramas, pruebas de normalidad Valor P.	102
E.	Anexo 5 Ficha técnica del vehículo.	106

Lista de figuras

Figura 1-1 Consumo de energía renovable.....	15
Figura 1-2 Consumo de Energía en el sector de transporte.....	16
Figura 1-3 Metas de Ahorro PAI 2017-2022 [8].....	17
Figura 1-4 Consumo entregado por fuente de energía a nivel mundial, 2010–2040 (mil billones de Btu) [5], [6].....	18
Figura 1-5 Clases de Combustibles utilizados en el Transporte.....	19
Figura 1-6 Emisión contaminantes en la ciudad de Bogotá.....	22
Figura 1-7 Estándares de emisiones para Vehículos de tránsito (g/km).....	24
Figura 2-1 Estrategias de Consumo de Combustibles.	32
Figura 2-2 Características generales de la conducción eficiente.....	34
Figura 2-3 Técnicas empleadas en la motivación del juego.	37
Figura 2-4 Beneficios de una Buena conducción.	40
Figura 2-5 Obtención de la Telemetría de vehículo a través del puerto OBD.....	43
Figura 2-6 Según el manual de uso del Dispositivo telemétrico Go7.	46
Figura 2-7 Modelo Mack MP8 Marca Volvo Tipo Vocacional – Construcción.....	47
Figura 2-8 Características de la Carrocería.	48
Figura 3-1 Programa de conducción eficiente en una flota.	50
Figura 3-2 Matriz reportada para distancia.	55
Figura 3-3 Información obtenida por el dispositivo telemétrico de consumo de combustible.	56
Figura 4-1 Ruta realizada	65
Figura 4-2 Análisis de regresión Etapa II	77
Figura 4-3 Análisis de regresión Etapa I	78

Lista de tablas

Tabla 4-1 Vehículos Seleccionados.....	62
Tabla 4-2 Conductores con edades.....	63
Tabla 4-3 Descripción de ruta.....	64
Tabla 4-4 Viajes realizados.....	65
Tabla 4-5 Datos organizados en Excel.....	67
Tabla 4-6 Análisis descriptivo vehículo 401.....	68
Tabla 4-7 Histogramas en pruebas de normalidad.....	70
Tabla 4-8 Análisis de Comportamiento para Normalidad.....	71
Tabla 4-9 Diferencia porcentual de indicadores de rendimiento.....	72
Tabla 4-10 Pruebas de hipótesis $\mu=\mu_0$ vehículo 349.....	74
Tabla 4-11 Análisis de medias para los 5 mezcladores.....	75
Tabla 4-12 Correlación de indicadores.....	76

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
km	Kilometro	km	Longitud
m^3	Carga	m	volume

Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
μ	Media de población		
μ_0	Media hipotética de la población formación del componente i		
σ	Desviación estándar	1	
η	Tamaño de la muestra	1	
$\bar{\chi}$	Media de la muestra	1	

Subíndices

Subíndice	Término
km	Kilometro
FC	fuel consumption
LSFC	Load-Specific Fuel Consumption

Superíndices

Superíndice	Término
n	Exponente, potencia

Abreviaturas

Abreviatura	Término
(AChEE)	Agencia Chilena de Eficiencia Energética
(PAI)	Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética

1. Introducción y Antecedentes

1.1 Introducción.

La globalización de la economía es un entorno que reclama a la industria del transporte un esfuerzo para revisar y perfeccionar sus tecnologías buscando que sean eficientes, rentables, confiables y económicamente sostenibles[1]. Su base principal es la eficiencia energética; modelo adaptado al cambio de futuras generaciones, motivado a desarrollar nuevas estrategias universificadas en problemáticas ambientales, económicas y de suministro de energías no renovables.

En Colombia se encuentran vehículos con tecnologías antiguas e inferiores a EURO IV que son tecnologías poco eficientes en cuanto a control de emisiones. Por eso uno de los grandes retos a nivel mundial es implementar métodos que ayuden a disminuir el consumo de combustible, uno de ellos es la conducción eficiente usando la telemetría, para tener datos de operación en tiempo real.

El *ecodriving* o conducción eficiente son criterios y buenos conocimientos aprovechados en la conducción que tienen como misión ayudar a disminuir el consumo de combustible, además, contribuye a bajar la contaminación ambiental, mejora el confort en la conducción y minimiza riesgos en la carretera. Cuando se usa esta técnica con nuevas tecnologías en el campo del transporte, como la telemetría, permite obtener información con lecturas más exactas por medio de sensores conectados directamente a la computadora del vehículo, los datos operativos capturados, se pueden analizar, obteniendo variables relacionadas con el consumo de combustible en la flota. Algunas variables estimadas son: experiencia, formación escolar y edad de los conductores, rutas, carga, distancia, peso, tipo de vehículos, consumo de combustible, entre otras. Se realiza una medición base de todas las variables, antes de impartir el curso a los conductores, luego de la participación se hace una segunda medición y toma de datos. De acuerdo a la literatura [2], al aplicar técnicas de conducción eficiente se logra una reducción de combustible, en vehículos de carga, representado en ahorro económico para la empresa.

El presente trabajo integral de grado se compone de las siguientes partes, *capítulo 1* antecede a lugares y empresas donde se han venido aplicando estas técnicas, además se proporciona información de la energía utilizada a nivel global y en Colombia enfocada en flotas vehiculares; *Capítulo 2*, se presentan: los objetivos del estudio, el marco teórico donde se hace un extenso análisis de los temas que componen el desarrollo de este trabajo como la oferta de combustible, las pautas, técnicas, errores, beneficios de la conducción eficiente. *Capítulo 3*, se compone de; la recolección y descripción de datos de tres fuentes obtenidas. *Capítulo 4*, se determinan los análisis y resultados de las variables carga [m^3], distancia [km], viajes, edad del conductor, consumo de combustible en [L], así mismo, para los indicadores seleccionados [m^3/L , $m^3 \cdot km/L$]. En el *capítulo 5 y 6* se presentan conclusiones, recomendaciones y estrategias de acuerdo con los resultados obtenidos en los análisis.

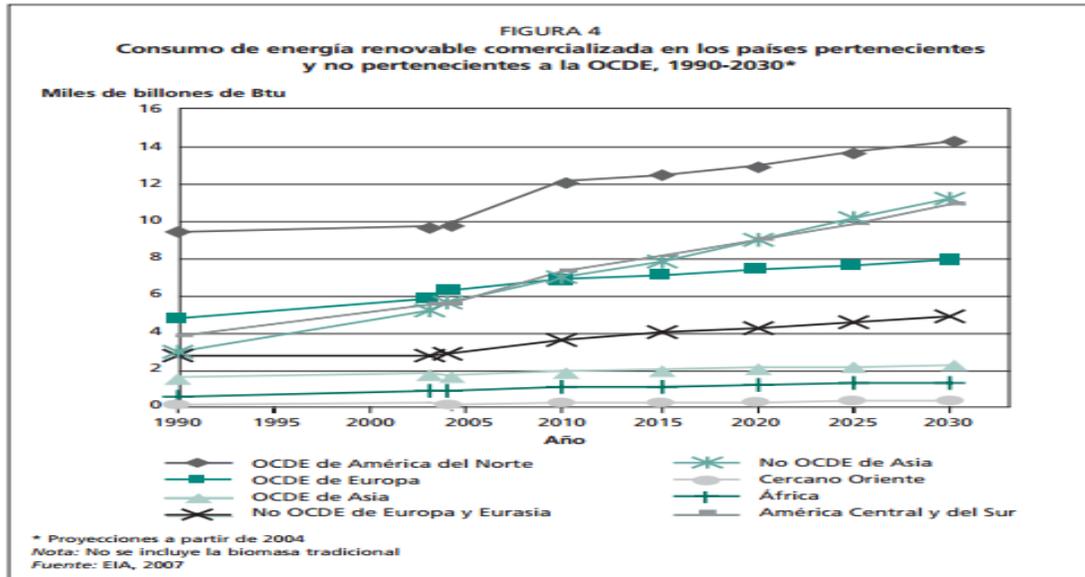
1.2 Antecedentes.

Al realizar una revisión enfocada en las estrategias a las que han acudido los países para mejorar el rendimiento de muchos procesos, se citan aportes como lo realizados dentro del Plan de Acción en España 2005 [2], donde se enmarca las estrategias de ahorro y eficiencias energéticas con distintas medidas, encaminadas al logro de un transporte sostenible y más eficiente, es así, que en los últimos años los vehículos de gasolina y diésel han mejorado las emisiones y ayudan a optimizar la calidad del aire, además, se han evidenciado mejoras en el consumo de combustible en vehículos convencionales aunque no hayan sido lo suficientemente significativas.

1.2.1 Demanda de energía a nivel mundial.

Según la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico [3], la demanda de energía a nivel mundial en 1990 fue 347,3 miles de billones de BTU (British Thermal Unit), para los países pertenecientes y no pertenecientes a la OCDE [4],[3] se estima que para el año 2020 el consumo de energía sea de 513,5 miles de billones de BTU a nivel mundial.

Figura 1-1 Consumo de energía renovable.



Fuente: (EIA, 2007 p. 27)

En la anterior **Figura 1-1**, se observan sus respectivas proyecciones hasta el año 2030, esto permite centrar el análisis de gastos energéticos en indicadores que pueden ser controlables y medibles desde las problemáticas locales, estas proyecciones son importantes para establecer comparaciones asociados a las intervenciones que deben realizar las empresas como factor mitigante ante el consumo inadecuado de los derivados del petróleo (energía no renovable).

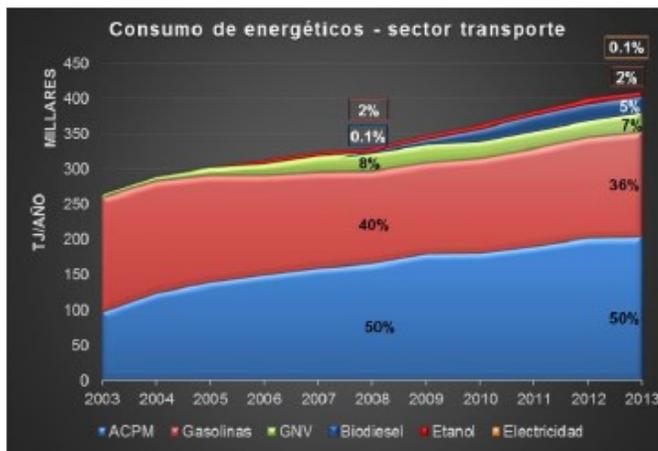
1.2.2 Demanda de energía en Colombia.

Teniendo en cuenta los aportes enmarcados a nivel nacional, se encuentra que según la International Energy Outlook [5] el sector de transporte produjo un aumento de consumo de energía de 104 billones de (BTU) para el 2012 y de 155 billones de (BTU) para el 2015.

Dentro del contexto de la industria del transporte en Colombia, se encuentra una alta porción en derivados del petróleo y electricidad, concluyendo que el consumo interno neto

fue del 29,655 KTEP/año¹ [6] en donde el transporte representa el 39,8 % del consumo total; los derivados del petróleo, suministraron el 93,6 % del consumo en este sector, siendo el ACPM y la gasolina (86 %) de la participación, ver **Figura 1-2**, para los vehículos de transporte público y carga, en gasolina para vehículos de consumo particular.

Figura 1-2 Consumo de Energía en el sector de transporte.



Fuente: UPME, 2013.

Cabe señalar que el (PAI) 2017-2022 [4], trabajado por el Ministerio de Minas y Energía (MME; 2016), tiene como objetivo definir acciones estratégicas en los diferentes sectores para obtener un ahorro energético nacional del 9,05 % como meta para todos los sectores, siendo el sector del transporte con más de la mitad de la meta propuesta, como se muestra en la siguiente **Figura 1-3**.

¹ KTEP/año: Cantidad de energía obtenida por la combustión de 1 tonelada de petróleo.

Figura 1-3 Metas de Ahorro PAI 2017-2022 [8].

METAS INDICATIVAS DE AHORRO 2017 - 2022		
SECTOR	META DE AHORRO (TJ)	META DE AHORRO (%)
TRANSPORTE	424,408	5.49%
INDUSTRIA	131,859	1.71%
TERCIARIO	87,289	1.13%
RESIDENCIAL	56,121	0.73%
	699,678	9.05%

Fuente: Enersinc [6].

En cuanto a la implementación del sistema de telemetría para la gestión de flotas, este mismo plan establece una serie de medidas enfocadas a los diferentes sectores de la economía colombiana, al situar la preocupación en el sector del transporte se proyecta renovación de vehículos eléctricos para transporte público de pasajeros para el año 2020. Esto hace parte de los esfuerzos que ha tomado el gobierno nacional para minimizar el consumo energético no renovable y con ello minimizar la producción de partículas contaminantes.

Durante el crecimiento y desarrollo de nuestro país se adhiere a la calidad y la eficiencia en la infraestructura de los servicios de tránsito y transporte, existente en los requerimientos formulación y admisión regulación del entorno tengan información y aplicabilidad de estrategias a nivel mundial que les permita fijar pauta claras y eficientes que ayuden

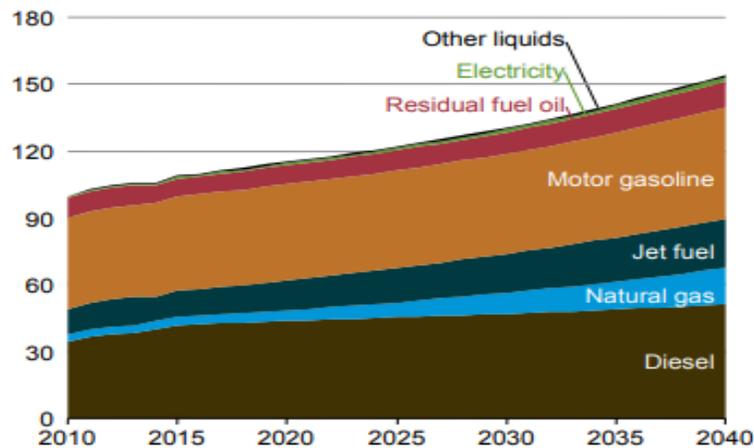
1.2.3 Consumo de combustibles líquidos a nivel mundial en flotas del sector del transporte.

A nivel global el consumo de combustibles líquidos predomina en la industria del transporte, representada en un 55 % del consumo total para los países pertenecientes a la OCDE y en un 45 % para los países no pertenecientes a la OCDE [2],[5],sin embargo el sector representa el 61 % del consumo energético mundial, cabe destacar que el uso de carburante diésel (incluido el biodiésel) progresa en el sector con 36 billones de Btu

mostrando la mayor ganancia, empleado en flotas de transporte de carreteras y pasajeros, con una perspectiva de disminuir del 36 % al 33 % para el año 2040, en segundo lugar el carburante para flotas de aviones acrecienta en 10 billones de Btu, con visión de aumentar del 12 % al 14 % en 2040, en tercer lugar la gasolina de motor (incluida la mezcla de etanol), sigue siendo la más importante en vehículos ligeros aumentando en 9 billones de Btu. El consumo total de energía para el transporte disminuye del 39 % en 2012 al 33 % en 2040, para las diferentes flotas; en 2012, los gasoductos representaron el 66 % (ver **Figura 1-4**) del uso de gas natural en el sector transporte, la contribución del combustible para el transporte aumenta del 3 % en 2012 al 11 % en 2040 en vehículos ligeros 28 %, autobuses 4 %, camiones grandes en el caso se referencia, del 1 % en 2012 al 15 % en 2040. Además, Se prevé que el 50 % de los autobuses sean gas natural en 2040, 17 % del ferrocarril de carga, y el 6 % de embarcaciones marinas.

En 2040, la electricidad representará el 40 % del total en consumo de energía de pasajeros y ferrocarril.

Figura 1-4 Consumo entregado por fuente de energía a nivel mundial, 2010–2040 (mil billones de Btu) [5], [6].



Fuente: Plan energético nacional 2020-2050.

1.2.4 Demanda de energía en el sector del transporte.

En el país los combustibles más utilizados en Colombia son líquidos, como gasolinas (extra y corriente), ACPM, biocombustibles usados para la mezcla; gas natural vehicular (GNV) y electricidad, estos dos últimos en una menor proporción. Se sabe que el Gas Licuado del Petróleo (GLP) es usado como autogas en los vehículos de las flotas distribuidores de estos combustibles. En la siguiente **Figura 1-5** se presenta un reporte energético empleado en el transporte.

Figura 1-5 Clases de Combustibles utilizados en el Transporte.

ENERGÉTICO	USO	ENERGÉTICO	EMPLEO
Carbón Mineral	Ferroviano	Kerosene y Jet fuel	Aéreo
Gas Natural	Carretero	Biodiésel	Carretero
Gasolina	Carretero, aéreo, fluvial	Alcohol Carburante	Carretero,
ACPM	Marítimo, carretero, fluvial, ferroviano	Fuel Oil	Marítimo, ferroviano
Petróleo	Marítimo	Electricidad	Ferroviano

Fuente: UPME 2014(Balance Energético)[7].

Los datos anteriores registran un consumo final en el sector transporte donde se visualiza que el 90 % de ese reporte son derivados del petróleo y el otro 10 % restante es derivado de otras fuentes (electricidad, energía renovable). Sin embargo, entre los años 2012-2040, la gasolina y el diésel tienden a disminuir la demanda, mientras que el gas natural tiene una tendencia al incremento por las nuevas tecnologías (GNCV y a la implementación de este combustible en vehículos de carga pesada).

Partiendo de los aportes de Giraldo [3], se puede estipular que en el país se está implementando estrategias para la reducción del consumo de combustible entre estas se encuentra el diseño y fabricación aerodinámico, reducción del ralentí, reducción en peso vacío, nuevas tecnologías en rines y llantas, mejoramiento en eficiencia de transmisiones con tecnologías inteligente; además, se enfoca en la Eco- conducción (Ecodriving), (conducción eficiente).

1.2.5 Ahorro de combustible a nivel mundial.

En la colectividad internacional, la mayor parte de la economía está sujeta por las diferentes fuentes de transportes donde el elevado consumo energético es el causante de problemas ambientales, económicos, cambio climático, detrimento de recursos naturales y explotación exagerada de recursos no renovables con el petróleo, diferentes actores han investigado para disminuir estos impactos y mejorar la calidad de vida y su entorno.

En la investigación [8], se fundamenta en desarrollar e implementar medidas destinadas a reducir la intensidad de la demanda energética, es así, que por varios años ha direccionado a la capacitación de conducción eficiente, y en la implementación del buen manejo del combustibles mediante la aplicación de nuevas tecnologías a empresas del transporte, la metodología propuesta es por medio de procesos continuos como: cursos, talleres y seminarios, dirigidos a conductores, operarios y monitores que a su vez estos son multiplicadores en la difusión de temas relacionados en la capacitación y el propósito del voz a voz es para impregnar el conocimiento de las buenas prácticas de conducción a empresas con pequeñas flotas que prestan el servicio a nivel local y a grandes empresas de flota a nivel nacional.

Según [9], tesis doctoral, se centra en la reducción del impacto ambiental causada por los vehículos al medio ambiente, disminuyendo el consumo de combustible y para ello aplica unas series de soluciones:

La primera se basa en la tecnología, expone que los fabricantes de vehículos se han dado cuenta del enorme impacto que está causando las emisiones de gases al ambiente y el costo de combustibles en Madrid España, han propuesto mejoras para ofrecer opciones de compra a empresas o propietarios de flotas, para adquirir un vehículo, generando una competencia limpia en el mercado.

La segunda es la optimización de los motores y uso de motores híbridos: La mayoría de los fabricantes de vehículos están centrados en optimizar el control sobre las válvulas del motor para que la mezcla aire/combustible sea precisa y se evite que quede combustible sin

quemar. Otra mejora importante introducida en los últimos años consiste en la utilización de dos motores: uno de gasolina y otro eléctrico. El motor eléctrico emplea una batería que se recarga mediante la energía cinética y la energía que se desperdicia durante el proceso de desaceleración.

Estas soluciones se centran en la necesidad de aplicar estrategias de bajo costo, con un asistente que evalúe el comportamiento del conductor, la clave ecodriving, desde el punto de vista de la eficiencia, proporcionando información en tiempo real además propone desarrollar métodos para motivar al conductor a conducir eficientemente. Durante la experimentación se logró un ahorro relativo al 22,5 % de combustible, el logro de este porcentaje es significativo a las buenas prácticas de conducción eficiente por la muestra en estudio.

1.2.6 Ahorro de combustible a nivel nacional.

La importancia del transporte en Colombia marca un desarrollo significativo en todo el campo, se puede pensar que en un vehículo el consumo de combustible depende únicamente del motor, un vehículo está integrado por muchas partes que cumplen funciones específicas, por donde puede existir pérdida de energía.

En el artículo [10], Evaluación del efecto de la conducción eficiente en el consumo de combustible en vehículo de transporte de carga, usando un diseño de experimento, evalúan algunos de los factores presentes en la conducción de vehículos de carga pesada, el propósito es mejorar acciones de conducción que conlleven al ahorro de combustible, la muestra experimental correspondió a varios viajes de doble recorrido entre Medellín – Cartagena, Cartagena - Medellín con una distancia 1,310 km, en un vehículo tractocamión marca Kenworth modelo T800 con una capacidad de carga de 35 toneladas, con rendimiento de combustible promedio de 8,27 KPG en situaciones no controladas de manejo. Las condiciones técnico mecánicas eran óptimas en todos los recorridos.

La carga transportada en los dos tramos fue distinta, entre Medellín – Cartagena (20 toneladas), Cartagena- Medellín (35 toneladas) en 16 viajes, con el mismo conductor.

Como resultado en el plan operacional presentan como eje central factores de establecimiento de la mínima en nivel bajo (7 %), cruce en nivel alto (24 %) y último cambio en nivel alto (20 %), como parámetros de operación rutinaria.

1.2.7 Emisiones contaminantes por el transporte.

Figura 1-6 Emisión contaminantes en la ciudad de Bogotá.



Fuente: www.miniambiente.gov.co.

En los últimos veinte años, la humanidad ha prosperado más que en todos los tiempos anteriores. Se han mejorado las condiciones básicas de gran parte de la población. Han aumentado las expectativas de vida de hombres y mujeres. La comunicación inmersa en la tecnología ha adquirido una velocidad cada vez más asombrosa. En definitiva, los seres humanos tienen cada vez más capacidad para modificar la naturaleza; tanto, que incluso amenaza su ambiente y por ende su supervivencia, este conjunto de elementos, relatados a modo de ejemplos, implica sustanciales cambios en la vida económica y cultural del mundo moderno. Entre ellos, quizás lo más relevante es lo que está ocurriendo en el fenómeno de la globalización, que también influye en los significativos problemas ambientales y económicos que amenazan al mundo. El calentamiento global de la atmósfera y el cambio climático, el adelgazamiento de la capa de ozono, la pérdida de la biodiversidad, la disminución de la masa vegetal y el avance de la desertificación, son evidencias de este deterioro que está sufriendo el mundo. Y esta amplitud de problemas ambientales tiene un eje de partida que es la macroeconomía. Los factores que afectan los buenos o malos entornos ambientales son: físicoquímicos (clima, agua, aire, ruido, suelo), biológicos (flora, fauna, ecosistemas), humanos (Población, calidad de paisaje, cultura, aspecto socioeconómico y valores patrios e históricos).

Entre los aspectos socioeconómicos se encuentra que el transporte, es evidente el impacto que se genera a nivel mundial en la calidad del aire por el aporte creciente del parque automotor (liviano y pesado), aéreo, férreo y marítimo (ver **Figura 1-6**). La cantidad de toneladas de gases contaminantes y partículas que genera en el transporte anualmente, están asociados a los residuos de combustión que se producen en los motores, como por ejemplo el monóxido de carbono (CO)², dióxido de nitrógeno (NO₂)³ y azufre, entre otros. Estos elementos han venido causando justificadas alteraciones y daños a la salud humana, fauna y flora del mundo, es el caso de (NO₂), es uno de los contaminantes con más incidencia a nivel mundial y su origen principal es la emisión por fuentes móviles como también la emisión del (CO₂) y (CH₄)⁴ generados principalmente por la combustión interna de todo tipo de transporte, el dióxido de nitrógeno en presencia de los rayos del sol, se rompe en monóxido de Nitrógeno y Oxígeno molecular, combinado con el oxígeno atmosférico (O₂)⁵ se forma el Ozono Troposférico (O₃)⁶, la inhalación de Ozono genera inflamación de todo el sistema respiratorio superior, es decir, fosas nasales, la garganta y laringe, cuando la exposición es constante afecta a los pulmones especialmente los bronquios, desencadenando diferentes enfermedades entre ellas el cáncer pulmonar. Colombia está tomando medidas necesarias con acciones de mejoramiento de calidad del aire para bajar los niveles de contaminación en ciudades de mayor movilidad vehicular, con medidas como el pico y placa ambiental y la implementación de tecnologías alternativas de combustible, donde a mediano plazo se puede mejorar o reemplazar (gasolina, diésel) por otros combustibles (Biogás, mezcla de gasolina-etanol, gases licuados del petróleo (GLP), Hidrogeno, gas natural Vehicular (GNV), vehículos híbridos o eléctricos entre otros), que ayudan al sector del transporte.

Además, está robusteciendo estas nuevas tecnologías y en contribución para el acuerdo de París sobre el cambio climático 2020-2025, confirió el Decreto 840-2019, cuyo componente ambiental de esta medida, es la restricción de la flota vehicular de carga que transita por la ciudad de Bogotá, con una tecnología inferior a Euro III y el 73 % de la flota de carga tiene una vida útil mayor a 10 años mientras que un 18 % tiene una edad igual o

² Dióxido de Carbono

³ Dióxido de Nitrógeno

⁴ Gas Metano

⁵ Oxígeno

⁶ Ozono

mayor a los 20 años, además desde 1992 se comenzó a implementar medidas tecnológicas para iniciar a controlar las emisiones con el uso de convertidor catalítico ubicado en el tubo de escape de los carros, este convertidor funciona y reduce hasta 90 % los hidrocarburos y los monóxidos de carbono, sí embargo este dispositivo aumenta niveles de emisión de (NO₂), (CO₂), efecto invernadero.

Existen estándares de emisiones en el mundo para los orígenes móviles como las EURO⁷ y originarias por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA).

Las normas EURO manejan estándares de concentración en TCH⁸. En la **Figura 1-7** muestra la implementando tecnologías Euro V en transporte masivo articulados, y carga para Colombia en los últimos años, pero aún existen tecnologías Euro II y III en el transporte público. Los entes encargados están continuamente revisando estos lineamientos con el fin de mejorar la gestión ambiental de los sistemas de transporte masivo (STM) y de carga.

Figura 1-7 Estándares de emisiones para Vehículos de tránsito (g/km).

<i>vehículos pesados</i>					
ESTANDÁNDAR	FECHA	CO	THC	NOx	PM
EURO I	1992	9.1	1.98	14.4	0.648
EURO II	1998	7.2	1.98	12.6	0.270
EURO III	2000	3.8	1.188	9.0	0.180
EURO IV	2005	2.7	0.828	6.3	0.036
EURO V	2008	2.7	0.828	3.6	0.036
EURO V	2010	2.7	0.450	3.6	0.036

Fuente: Gallón, administración de flotas vehiculares.[11]

⁷ EURO: Norma que controla los límites máximos de emisiones de CO₂ aplicada desde 1988 en la Unión Europea.

⁸ THC: Hidrocarburos totales; PM: Partículas Sólidas o Líquidas Contenidas en el aire. NO_x Óxidos de nitrógenos (+2) y (+4).

1.2.8 Consumo de combustible de flotas vehiculares.

Las flotas de transporte, son una miscelánea de diferentes tipos de máquinas para diversos usos como son (pasajeros, carga, alimentos, hidrocarburos, aéreos, marítimos, entre otros); es de vital relevancia los costos de operación a sabiendas del alto precio de combustible. Por tanto, el buen progreso de su actividad económica y disponibilidad, se hace necesaria implementar prácticas de eficiencia para bajar el consumo de combustible, costos de operación, y mejorar las emisiones lanzadas a la atmósfera[10]

El consumo de combustible en las diferentes flotas depende de muchos factores emparentados, en cierta medida, se puede concientizar el factor humano en la estructura empresarial; ya sean, grandes o pequeñas compañías, de acuerdo a la tecnología de sus vehículos, de la actitud del conductor, entre otros

En la empresa con flotas grandes, poseen de (51 a más unidades) con varios tipos de vehículos y de diferente capacidad, pueden ser propios o privados, para atender la demanda de despacho y logísticos que requieren los clientes nacional e internacional, controlan el consumo de combustible por medio de un (iButton)⁹ o telemetrías.

Las empresas con flotas mediana, poseen de 11 a 30 unidades[10]; son empresas familiares que han venido creciendo paulatinamente debido a optima gestión en los últimos años, pueden tener una cuantiosa cartera de clientes, el responsable del mantenimiento de los vehículos es un familiar cercano al representante legal o una persona de confianza, pueden tener talleres propios, el consumo de combustible suele ser variable, usan sistemas de información manual, seguido de software y algunas empresas de carga usan sistemas de monitoreo.

Las empresas con flotas pequeñas suelen ser empresas familiares con pocos socios, puede tener de 5 a 10 vehículos como máximo, su trabajo está dirigido a pocas empresas y pocos clientes, el mantenimiento tiene menor significancia, el mismo dueño o gerente se encarga de ello, el consumo de combustible es demasiado variable y se llevan datos muy manuales.

Muchas empresas cuentan con vehículos antiguos sin tecnología ecológicas, por lo cual se hace necesario implementar estrategias muy económicas, donde los conductores sacan el

⁹ iButtons: es un chip en carcas de acero registran y graban los datos del vehículo, en el sistema de control de las estaciones de servicio de combustible.

mejor beneficio, dando un mejor uso a la máquina, bajan la contaminación y reducen el consumo de combustible, y los costos de operación, aplicando buenas prácticas durante la conducción.

2. Objeto de Estudio.

2.1 Planteamiento del problema.

Es cierto que uno de los grandes retos a nivel mundial es disminuir el consumo de combustible de diferentes fuentes, especialmente los derivados del petróleo, ya que se ha generado un impacto negativo por parte de las industrias, fábricas y vehículos, en donde sus actividades económicas son susceptibles a generar contaminación ambiental y contribuir al cambio climático, afectando la salud humana y el hábitat de la fauna y flora del planeta.

Dentro de los propósitos en el mejoramiento de la calidad ambiental a nivel mundial, los países en camino de desarrollo han aportado estrategias que permiten consolidar los mecanismos que promueven el consumo energético eficiente y propenden plantear legislaciones que vayan de la mano con una economía amigable al medio ambiente. Bajo este planteamiento, se generan proyectos que buscan disminuir el gasto energético enfocado al uso del combustible, generando mayor rentabilidad y aportando elementos significativos que enmarcan todas acciones en causas que van de la mano con el medio ambiente.

Enfocando los esfuerzos a nivel local, se encuentra que muchas compañías deciden ser parte de esta iniciativa conocida como *conducción eficiente*; brindando elementos formativos a sus conductores, que permitan generar estrategias enfocadas a cambiar su actitud y aptitud frente al gasto excesivo de combustible.

Desde esta perspectiva, en el presente proyecto se plantea el siguiente cuestionamiento:

¿Es posible disminuir el consumo de combustible después de un curso de conducción eficiente a una muestra de vehículos de transporte de cemento?

2.2 Justificación.

En la actualidad muchas de las empresas de transportes de carga y pasajeros usan GPS o sistemas telemétricos, obteniendo una importante cantidad de información, la falencia es que en las compañías no hay un análisis profundo de las variables enfocadas al consumo de combustible. Hoy en día las empresas implementan la conducción eficiente como parte de estrategia, para reducir el consumo de combustible, sin embargo, no hay registros suficientes que corroboren que esta estrategia disminuye el consumo de combustible.

El costo elevado de combustibles fósiles, el cambio climático son problemas socio económicos que impulsan a diferentes actores a buscar alternativas para el ahorro energéticos. El impacto de este sector en la matriz de consumo energético en países y el alto contenido en emisiones de gases efecto invernadero y otros contaminantes lo ubican en el eje de importante transformaciones impulsadas por esta nueva realidad [7]; es por ello que, el transporte abarca cerca del 19 % del consumo total y en Colombia no es la excepción, el crecimiento del parque automotor prosperará en forma acelerada; es así que, para el 2040 Colombia tendrá una flota de alrededor de 27 millones de vehículos [7]. Los equipos telemétricos permiten identificar datos que se pueden cuantificar en diferentes variables. En el presente estudio, se pretende analizar la acción del gasto de combustible relacionado con variables como distancia recorrida por el vehículo y su relación la carga durante su operación.

Existen empresas dedicadas al transporte de carga donde aplicar esta novedad en el ahorro de combustible implica, una ayuda monetaria, energética y ambiental; y es una buena oportunidad para mirar hacia la conducción eficiente y tomar esta estrategia en la clase de transporte pesado que se ha definido como unos consumidores de combustible con alto índice de contaminación.

El presente estudio permite generar líneas de análisis que vayan de la mano con la conducción eficiente y su relación entre el consumo de combustible y demás factores asociados. Esto les permitirá a las empresas transportadoras de concreto plantear soluciones efectivas que vayan de la mano con las políticas nacionales en cuenta al

mejoramiento de la calidad del medio ambiente en ciudades tan contaminadas como es el caso de Bogotá.

2.3 Objetivos.

a. Objetivo general.

Analizar el consumo de combustible en vehículos de carga durante un programa de conducción eficiente.

b. Objetivos específicos.

- Identificar variables que puedan estar relacionadas con el consumo de combustible en una flota de vehículos de carga.
- Establecer los múltiples factores que determinan la conducción eficiente y establecer su potencial de ahorro de combustible frente a otras estrategias aplicables.
- Verificar el acceso de datos a los dispositivos de lectura de telemetría, específicamente sobre el consumo de combustible en cinco (5) vehículos.
- Analizar la información suministrada por la operación, la logística y la telemetría de los vehículos durante dos etapas de tiempo. A saber, antes de la capacitación y después de la capacitación en conducción eficiente.
- Establecer recomendaciones y estrategias para la disminución de consumo de combustible.

2.4 Marco teórico.

2.4.1 Consumo de combustible.

2.4.1.1 A nivel mundial.

El sector del transporte vehicular es fundamental en la sostenibilidad de la economía a nivel mundial, este potencial es la vía para mejorar la subsistencia de millones de persona en su (salud, ambiente, calidad de vida y estabilizar el cambio climático).

2.4.1.2 A nivel nacional.

Diferentes empresas colombianas de transporte han implementado, análisis detallados para su flota vehicular y personal operante en especial los conductores del transporte masivo y semi masivo, con el propósito buscar estrategia para en la seguridad de los conductores, reducir en costo por el gasto de combustible y a la vez innovar su flota de vehículos para contribuir al medio ambiente, el interés de la compañía en realizar esta investigación es establecer pautas en mira a la sostenibilidad de una operación limpia con el medio ambiente y disminuir los egresos ocasionados en su flota vehicular. En este caminar se marcaron logros de desempeño tanto en la movilidad, conducción eficiente y capacidad de carga entre otros.

2.4.1.3 Estrategias para bajar el consumo de combustible en flotas y ecodriving.

En el transporte, una de las innovaciones más significativas en los últimos años, es ecodriving o conducción eficiente, esta invención ha tenido un enorme impacto a nivel ecológico y económico. La extensión vehicular ha contribuido a la globalización y al crecimiento económico en todas las regiones del mundo, Europa, Estados Unidos, Japón y América del Sur; además, ha facilitado la comunicación terrestre de las áreas suburbanas y rurales.

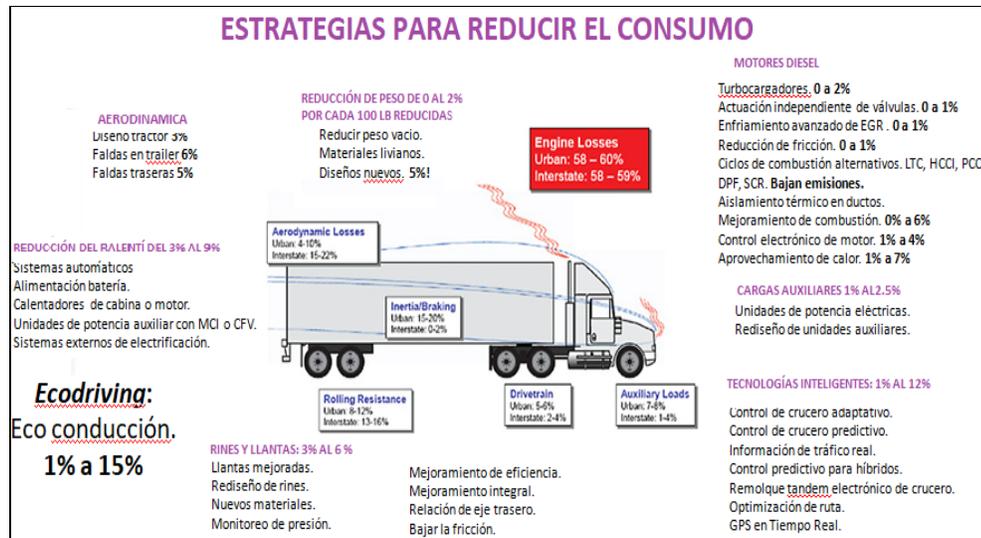
Capítulo 2

Uno de los grandes retos que enfrenta la comunidad transportadora en el planeta es cambio climático y la necesidad de reforzar la competitividad en el consumo de combustible, Colombia no es la excepción. Muchos países están aplicando nuevas medidas en el ahorro inteligente de combustible, estrategia implementada a nivel mundial, con el reglamento 1222/2009 del parlamento europeo, del consejo y otros actores como España, México, Chile.

Los gestores del conjunto de flotas podrán reducir de forma eficiente el consumo de combustible de sus vehículos y disminuir los costos operacionales, al calcular el ahorro de combustible con herramientas específicas, como la telemetría, además aplicando diferentes estrategias estipuladas en la conducción eficiente.

- Efectuar el cambio de marcha a tiempo de acuerdo a las RPM establecidas por el fabricante, el cambio automático restringe esfuerzos al conductor, pero consume más que los cambios manuales.
- Usar turbocompresores al aumentar la potencia y el rendimiento de los motores
- El control eléctrico del motor mejora su rendimiento.
- Controlar la utilización del aire acondicionado o climatizado a una temperatura 21 a 22°C, o consumos de energía.
- Conducir con las ventanillas abajo.
- Mantenimiento constante del vehículo: revisión del motor, inspección del nivel de aceite y filtros.
- Control de la presión de los neumáticos, una correcta presión disminuye la resistencia a la rodadura, lo que hace que el motor estabilice su potencia en el momento de colocar y mantener en marcha el vehículo, la presión de aire en las ruedas, permite una mejor estabilidad y la autonomía en el manejo, evitando sobrecalentamiento en los neumáticos por el aumento de la fuerza de rozamiento en la maleabilidad del caucho.
- Distribución adecuada de la carga, permite una buena resistencia al aire y mayor estabilidad del vehículo.

Figura 2-1 Estrategias de Consumo de Combustibles.



Fuente: Giraldo 2019

Además, en la **Figura 2-1**, hay tácticas para reducir la pérdida de combustible en la maquina durante el ralentí, apagar el motor cuando no está en marcha, así también resalta la importancia que ingenieros han estudiados por años la aerodinámica, midiendo el flujo de aire y lo han aplicado a camiones y doble troques para analizar de qué manera se puede reducir el arrastre. La reducción de la resistencia aerodinámica, la reducción de peso en vacío, y la adición de tecnologías inteligentes en algunos modelos, ayuda a reducir el consumo de combustible, lo que a la vez resulta favorable al medio ambiente.

Otra de las estrategias que más ha funcionado en la capacitación de conductores, tiene que ver con la concienciación de los mismos en aspectos ligados al cuidado y el buen manejo del vehículo; esto no solo favorece el trabajo realizado por el operario, sino que le brinda bienestar y durabilidad a la flota. Entre los aspectos que se deben tener en cuenta se destacan los siguientes:

Inspección diaria del vehículo, de acuerdo al protocolo de cada empresa (niveles, estado de llantas, inspección de carrocería, espejos, luces). La buena Coordinación de despacho y logística en escenarios como:

- Retornos en vacío, son necesarios para la carga transportadora de este estudio evitando las horas pico y aprovechando las horas valle
- Pronosticar las medidas de restricción para vehículos de carga en la ciudad de Bogotá.

2.5 Conducción eficiente

La conducción eficiente es la manera adecuada de conducir cualquier vehículo y su propósito es lograr un ahorro de combustible. Por lo tanto, es fundamental que el operador o conductor tenga la oportunidad de lograr un buen estilo de conducción y una mentalidad consciente, motivado para ayudar a la reducción de la contaminación ambiental y la disminución de riesgos en carretera.

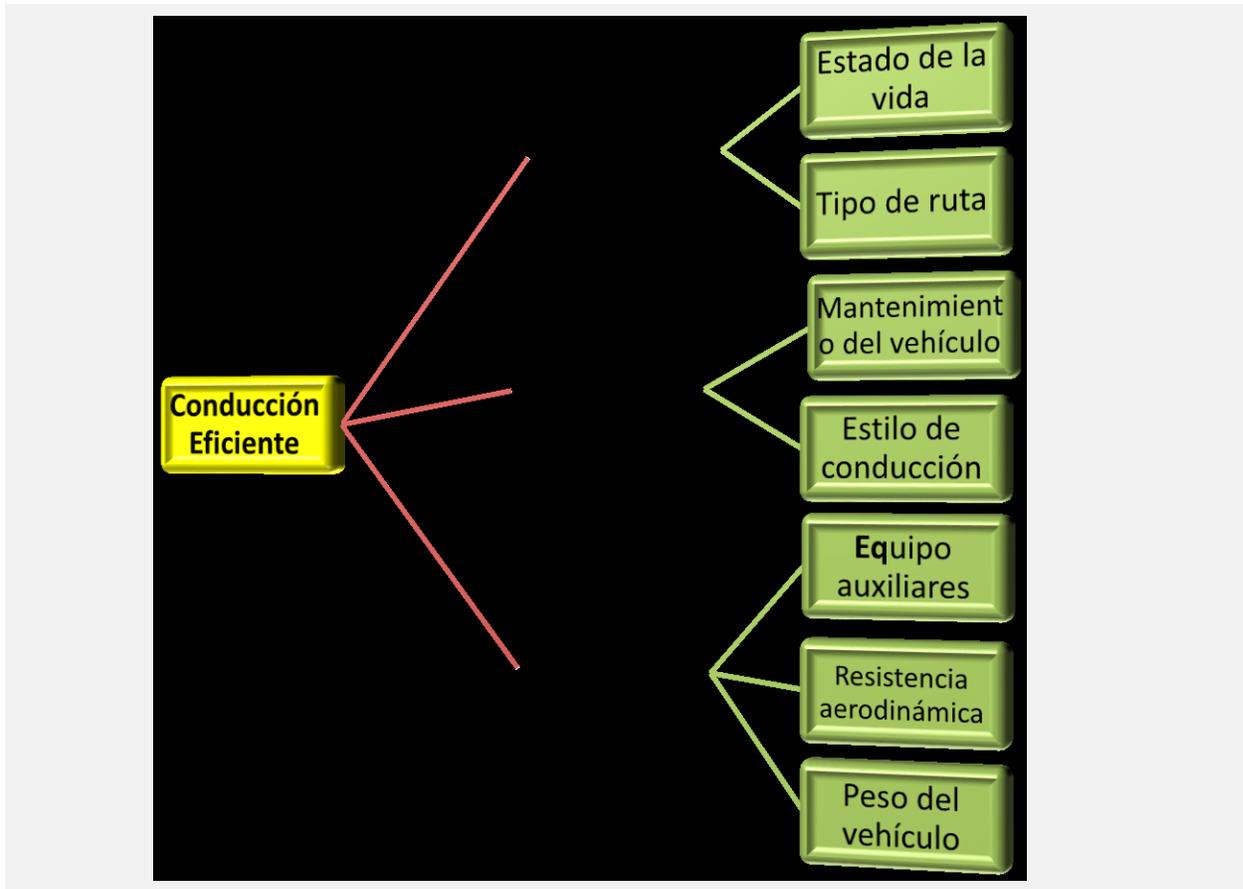
La conducción eficiente se rige en la implementación de normas sencillas y claras que todo conductor debe conocer, son la llave para obtener reducción de costos en la operación, el 20 % de estos costos están en el combustible [3]. El comportamiento del estado de ánimo, costumbres del conductor son fundamental para disminuir el consumo de combustible y alargar la vida útil de la máquina, o sus emisiones en pro de mejorar las buenas prácticas eco eficiente.

Según Rafael M., [12], “la conducción técnica o eficiente de un vehículo por parte del operador es el tipo de conducción y de comportamiento en relación al vehículo que lleva al consumo mínimo de combustible, llantas y refacciones, cualquiera que sea la clase de recorrido o las condiciones del tránsito reduciendo la emisión contaminante al medio ambiente y respetando al transeúnte”.

Para, Giraldo N., [3],” la conducción eficiente corresponde a una serie de criterios y buenas prácticas a aplicar al margen y durante la conducción, que tiene como propósito lograr un bajo consumo de combustible, una reducción de contaminación ambiental, un mayor confort de conducción y una disminución de riesgo en carretera”

El comportamiento del estado de ánimo, costumbres del conductor es fundamental para disminuir el consumo de combustible y alargar la vida útil de la máquina, anticipado un buen manejo de combustible vehicular o sus emisiones en pro de mejorar las buenas prácticas eco eficiente.

Figura 2-2 Características generales de la conducción eficiente.



Fuente: Flórez, Rangel (2014)

2.5.1 Factores de la conducción eficiente

La conducción eficiente es manejar un vehículo de forma consciente, aplicando buenas prácticas para formar el hábito. La finalidad de este estudio es establecer los principales factores de la conducción eficiente durante la operación de vehículos de carga, el conductor debe tener en cuenta:

- **Reducción de ralentí:** (4 %) [8] Apagar el motor cuando está parado, ayuda a ahorrar combustible, se evita el desgaste innecesario, de la maquina [13].

- **Curva de par a plena carga:** (1-5 %) Esta curva muestra el par máximo proporcionado por el motor a cada régimen de giro cuando la carga es máxima. La carga es máxima cuando el pedal *acelerador está pisado a fondo* [8]. Esta curva suele ser suministrada por el fabricante
- **Disminución de peso:** (1 %) Se establece como variable que puede influir en el consumo de combustible, evitar cargas innecesarias en el vehículo[14].
- **Presión neumáticos:** (2 %) mantener la adecuada presión de los neumáticos, para obtener menor resistencia al movimiento [15]
- **Conservar la velocidad:** (16 %) El diseño del motor y las altas velocidades incrementan el consumo[13]. Conservar la velocidad ayuda a reducir la resistencia aerodinámica de acuerdo a las especificaciones del camión y el rango de RPM donde el motor tiene óptimo desempeño durante en la operación.
- **Conservar la distancia:** (1-5 %) [8] mantener la distancia adecuada entre vehículos en la vía.
- **Controlar los impulsos:** (1-5 %) no tomar actitudes agresivas en ningún momento [8].

2.5.2 Implementación de la conducción eficiente.

Las grandes empresas que giran alrededor del transporte trabajan constantemente en la implementación de estándares de calidad, eficiencia y sostenibilidad, el eje de una buena aplicación en la conducción eficiente es el conductor, de él depende la participación activa y el mejoramiento para continuar en el proceso metodológico y en la aplicabilidad de una buena conducción eficiente.

La empresa maneja información adecuada para el seguimiento de su flota como kilometraje de inicio y final de los recorridos diarios, carga, consumo de combustible, y un buen mantenimiento

2.5.3 Pautas que se debe abordar en la capacitación de conducción eficiente (ecodriving).

Para que la conducción eficiente obtenga buenos resultados es necesario conocer que motiva o frustra al conductor mediante preguntas sencilla o con la aplicación de una prueba de conducción [9] a través de actividades neuropsicológicas¹⁰ digitalizadas, se caracterizan por edades, experiencia, sea persona mayor, joven, adulto tiene la capacidad cognitiva necesaria y las actitudes óptimas para realizar una conducción eficiente y segura, además proporciona información relevante que puede ayudar a predecir la calidad de manejo del vehículo e identificar el índice de accidentalidad.

Esta prueba es totalmente digitalizada, se puede efectuar virtual y su duración de 30-40 minutos,[9] al analizar la evaluación su resultado detallado aporta información útil y perceptible sobre la capacidad, rendimiento y habilidades de conducción. Además, aporta información: cognitiva, para evaluar recorridos y velocidades, experiencia manual, percepción del tiempo, habilidades atencionales, percepción auditiva, visual, rapidez o velocidad de reacción.

2.5.4 Técnicas en la motivación del conductor a realizar curso de ecodriving.

La palabra motivación en latín “motivus significa movimiento y el sufijo (-ción) expresa acción. Por consiguiente, motivación significa estar movido a ejecutar una acción. Tanto las personas como son los vehículos ofrecer una fuerza que se enfrenta a lograr un propósito, en este caso en ahorro energético y esta energía gastada para conseguir dicho objetivo se denomina motivación (ver **Figura 2-3**).

La motivación se clasifica así:

¹⁰ Neuropsicológicas: Son pruebas que miden las capacidades, rendimiento y aptitudes cognitivas implicadas en la conducción.

Capítulo 2

- **Intrínseca:** se refiere a cualidades (interés, curiosidad, diversión) aplicada al que hacer, es el caso del conductor que explora, manifiesta actitud, curiosidad y diversión para aprender de su oficio.
- **Extrínseca:** son factores externos que premia o castiga una actitud positiva o negativa al ejecutar una tarea determinada por sí mismo, se presentan varias clases en especial tres:
 - **Regulación externa,** se trata la conducta como un medio regulado mediante medios externos en recompensa o sanciones, el individuo realiza una tarea para obtener un premio o un castigo.
 - **Regulación introyectada:** el individuo empieza un proceso de internalización de las razones de sus actos mirado desde su Propia experiencia, como ejemplo el conductor regula la velocidad porque ha visto o ha tenido varios accidentes.
 - **Identificación:** es cuando la persona califica la conducta como importante para sí mismo, en este caso la internalización de motivos intrínsecos que se regula por identificación.

En la motivación hay dos tendencias marcadas, una es el pensamiento conductista sugerida por la motivación extrínseca donde propicia al individuo para realizar una tarea con beneficio de recompensa o sacrificio de castigo. Además, sostiene que la persona es inherente dinámico, teniendo un espacio acomodable, proactivo, el medio es factible a sí mismo y centra en lo que necesita para su crecimiento innato y bienestar.

Figura 2-3 Técnicas empleadas en la motivación del juego.



Fuente: *Elaboración Propia (2020)*

2.5.5 Capacitación en Ecodriving o conducción eficiente.

La capacitación y formación continua en recursos humanos de empresas se ha convertido en la actualidad en uno de los pilares fundamentales para que el personal esté actualizado y evitar el reaprendizaje, aunque parece contradictorio en el ámbito organizacional, tan importante es aprender como desaprender tema tratado por Alvin Toffer con la premisa “los analfabetos del siglo XXI no serán aquellos que no sepan leer o escribir sino aquellos que no puedan aprender, desaprender y reaprender” [16].

El conductor es el actor fundamental en determinar los factores importantes en el consumo de combustible, de ahí la importancia de crear una metodología específica para desarrollar y aplicarlas buenas prácticas de conducción.[17] Se presentaron algunos temas que son de gran importancia en la capacitación de la conducción eficiente, sin embargo, la empresa o el instructor contratado por la misma decidirá otros factores importantes.

Contenidos de la capacitación en conducción eficiente.

- Duración del curso y horario.
- Metodología (beneficios de la conducción eficiente para el conductor y vehículo).
- Consumo de combustible y emisiones.
- Estrategia para disminuir el consumo de combustible.
- Características de la conducción eficiente.
- Soporte técnico del motor y pautas del funcionamiento del vehículo.
- Técnicas de conducción eficiente.
- Recomendaciones en la conducción eficiente.
- Explicación de plan de conducción de la empresa.
- Logros internos obtenidos con una conducción limpia.
- Prácticas de conducción actuales.
- Fallas presentadas durante la conducción.
- Mantenimiento vehicular.
- Evaluación de parámetros

2.5.6 Errores al manipular la conducción eficiente.

Cualquier recomendación de seguridad hecha en la capacitación de una conducción limpia no tiene valor si el conductor que la toma no la aplica o se deja llevar por su instinto de experimentado. El conductor profesional debe pensar que al conducir un vehículo está expuesto continuamente a las eventualidades de sufrir un accidente, la mínima distracción puede tener consecuencias graves. Tendrá que decidirse a manejar prudentemente, sin dejarse llevar por actitudes agresivas, esto es, manejar relajado y sin afán. Para [17] al aplicar los sistemas telemétricos en vehículos propios, donde el objeto de estudio era evaluar los conductores de la flota, encontrando variables como:

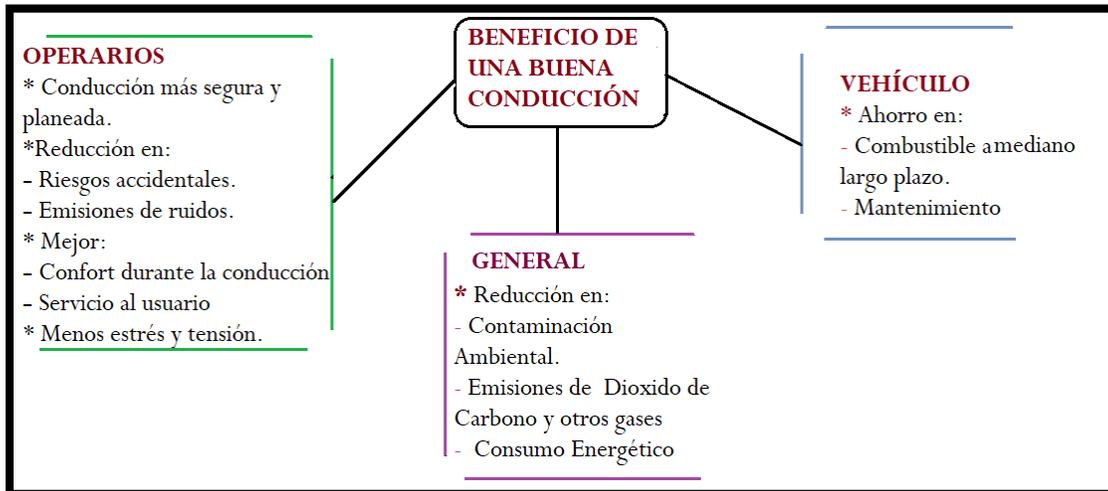
- a. Exceso de RPM y Tiempo que dura el motor revolucionado.
- b. Exceso de velocidad (km/h): velocidad consumida durante el recorrido y tiempo empleado.
- c. Frenada brusca (km/h/s): disminuir la aceleración cuando el velocímetro registra cifras mayores de 14 km/h/s, procura no frenar bruscamente para luego tener que acelerar nuevamente.
- d. Aceleración áspera (km/h/s): la aceleración debe ser la necesaria para vencer la fuerza de resistencia, de acuerdo al peso del camión con su carga y la inclinación de la carretera, elevar la aceleración aumenta el RPM y la potencia del motor, obligando al conductor a corregir la velocidad y prepararse para un nuevo evento en la vía, esto ocasiona la pérdida de energía adquirida y precipita el desgaste de la máquina.
- e. Fuera de banda verde: a veces el conductor no tiene en cuenta la óptima operación en la zona de rendimiento, se establece de acuerdo al fabricante, en algunas marcas de vehículos viene indicada como una línea verde en el tacómetro, operar el vehículo sobrepasando esta línea se llama fuera de banda verde.
- f. Paradas prolongadas: cuando el vehículo se encuentra parado y con el motor encendido por más de 5 minutos.

2.5.7 Beneficios de una buena conducción o conducción eficiente

Durante la última década la tecnología de los vehículos ha evolucionado en forma significativa, sin embargo, la forma de conducir ha estado latente, este estilo de conducción eficiente aportará técnicas que serán útiles en las nuevas tecnologías, en la **Figura 2-4** se

puede observar como al aplicar la conducción eficiente se pueden obtener mejoras con los operarios, a nivel general con el planeta e impactos favorables a los vehículos y empresas.

Figura 2-4 Beneficios de una Buena conducción.



Fuente: Elaboración Propia 2020.

2.6 Caracterización del conductor.

La transformación del comportamiento del conductor es una tarea ardua; en estudios realizados por [9] se observa que los conductores tienden a volver a sus hábitos de conducción previos. Para poder romper estos paradigmas se propone emplear estrategias para que la conducción eficiente y así se obtenga buenos resultados, es necesario conocer que motiva o frustra al conductor mediante preguntas sencillas,[9] se describe algunos conductores durante la capacitación que puede ser: ambicioso, ganador, explorador, sociable.

- Los ambiciosos, su deseo es competir es una buena manera para mantenerlos animado.
- Los ganadores su fuerte es obtener reconocimiento, este logro es una buena forma para mantenerlo motivado.

- Los exploradores son aquellos conductores que tiene curiosidad por descubrir nuevas cosas y nuevos aprendizajes, la forma de mantenerlos ocupados es mediante retos complejos.
- Los sociables el interés es mantener buenas relaciones y amigos las estrategias aplicadas son los foros, lista de amigos, trabajos colectivos y el chat.

Entre los paradigmas mencionados se resalta el juego, para animarlos a participar en diferentes tareas o retos propuestos, como retroalimentación al proceso de aprendizaje se puede impartir escenarios generados en la vía a través

2.6.1 Aplicación de gamificación en la conducción eficiente.

El conductor, tiende a retroceder a sus hábitos de conducción preconcebidos, es aquí cuando este se ve enfrentado a romper sus manías creadas durante muchos años de conducción y empieza un des aprendizaje bajo el concepto de aprender a aprender, para disminuir o radicar este problema se hace uso de las herramientas de gamificación, que consiste en la utilización de elementos de juegos y en la realidad el conductor debe mejorar el compromiso y la motivación. La estrategia de aprendizaje incluye el reconocimiento de logros a través de puntos, insignias, cuadros de líderes o barra de progreso, este concepto nace desde el sector empresarial y en los últimos años se ha posicionado en temáticas de educación.

Los juegos permiten crear situaciones de experimentación práctica para desarrollar habilidades inteligencia emocional y social. El juego es una actividad intrínsecamente motivada, en donde existe compromiso con el trabajo, con el equipo y con el aprendizaje

Para [9], estas características están distribuidos así: ambicioso (20 %), explorador (50 %), ganador (40 %), y socializador (20 %), estos porcentajes es positivo para el componente social. Y es un punto a favor para la aplicación de la gamificación, donde los jugadores competitivos y los exploradores lograran el aprovechamiento del curso de conducción eficiente.

2.7 Telemetría usada para monitoreo del consumo de combustible.

La palabra telemetría proviene de las palabras griegas Tele que significa largo y la palabra meter que significa medir [18] Por eso telemetría significa realizar mediciones a largas distancias, nace de la necesidad de medir parámetros físicos como la temperatura, distancia, velocidad, tiempo, potencia en tiempo real, por medio de un módulo transmisor de señales bidireccional, convierte las señales eléctricas en señales digitales o análogas, generalmente incluye una antena de rastreo para enviar datos al centro de control usando redes de telefonía.

2.7.1 Aplicaciones de la telemetría.

La telemetría usa sensores y permite controlar, monitorear procesos en tiempo real, transmite la información para conocer el estado de la operación por medio de datos, es usada en diferentes campos como:

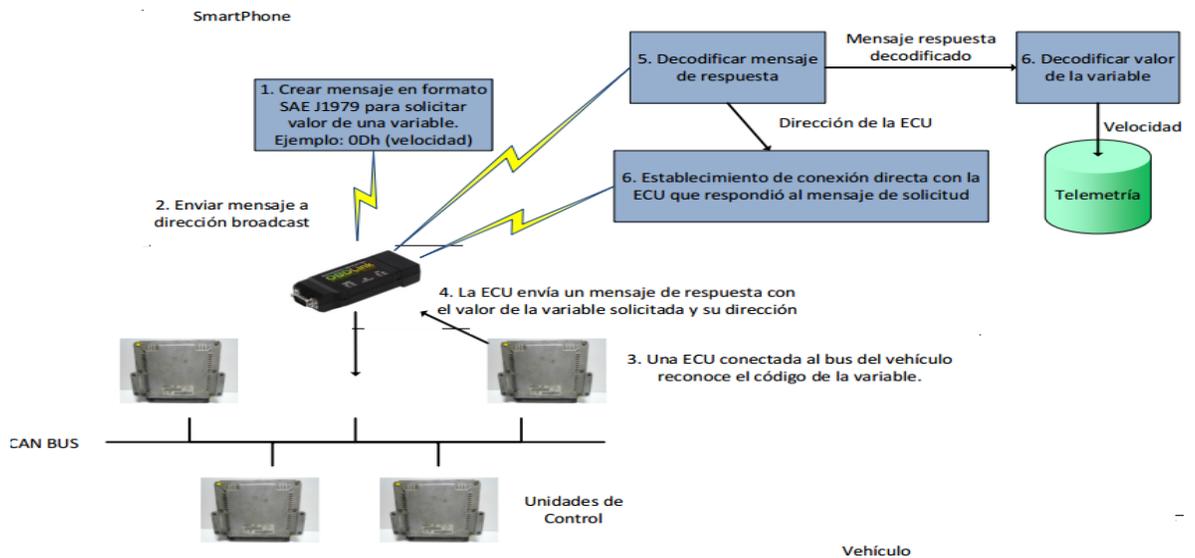
- En el campo aeroespacial se usa dentro de misiles guiados, vehículos tripulados, en el área de aviones de reconocimiento no tripulados para medir parámetros físicos donde el ser humano no puede llegar en tiempo real.
- A nivel industrial se utilizan en la química, la manufactura, la metalmecánica y en la construcción especialmente en el área de control en procesos peligrosos.
- Plantas solares eólicas, estaciones meteorológicas
- Industria de almacenamiento como son: (transporte y distribución de petróleo, gas, refinación).
- Industria eléctrica, acueducto, agua, gas, redes de suministro.
- Empresas de transporte de carga, pasajeros, logística, en carreras automovilistas

La usada telemetría en la industria automotriz se encarga de recolectar información de magnitudes físicas y enviarlas al centro de control en forma de datos, permitiendo recibir alertas durante la operación, en muchas ocasiones para la toma de decisiones de forma oportuna [19].

2.7.2 Telemetría en el transporte de carga.

La función de esta tecnología es obtener datos y analizarlos con el fin de monitorear los viajes y su carga durante la operación diaria, controlar el rendimiento del vehículo y poder tomar decisiones oportunas[11].

Figura 2-5 Obtención de la Telemetría de vehículo a través del puerto OBD.



Fuente: Mattos, 2004

En la **Figura 2-5** se observa algunos componentes utilizados en la telemetría para recoger los datos en tiempo real:

1. Recolección de datos: en un espacio específico del vehículo se colocan los sensores con el propósito de medir velocidad, ubicación y estados de la carga. Transmisión a un emisor instalado en el vehículo
2. Los datos recogidos pasan por transmisión inalámbrica a un dispositivo instalado en el camión mezcladora, que puede ser un teléfono celular u otro transmisor conectado a una red por radio o comunicación satelital.
3. Levantamiento de datos: los datos recogidos por los sensores son convertidos en magnitudes comunes que pueden ser leídas rápidamente como: niveles de combustible, carga, kilometraje y otros que se puede ubicar en el mapa satelital.

4. Comunicación inalámbrica: los datos se transmiten mediante una red satelital, desde el dispositivo a una central ubicada a distancia, en la que se codifica los datos en tiempo real.
5. Retroalimentación inmediata: La central está en condiciones de recibir y evaluar los datos en cualquier momento. Esto permite enviar órdenes de forma inmediata, ya sea por contacto con un operador humano o por una orden automatizada.

2.7.3 Datos arrojados en la telemetría.

El sistema de telemetría almacena una enorme cantidad de datos y se transmiten por el GPS¹¹ [16] que permite distinguir los vehículos y transfiere la información por medio de la red GPRS¹², trabajan en conjunto con la computadora del vehículo capturando datos como:

- Horas totales de trabajo
- Odómetro
- Hora de ralentí
- Consumo de combustible
- Consumo de combustible en ralentí
- RPM revoluciones por minuto
- Batería
- Aceite
- Refrigerante
- Temperatura

¹¹ GPS (Global Positioning System o system de posicionamiento global)

¹² GPRS (General Packet Radio Service o paquete general de servicio de radio)

2.7.4 Instalación de dispositivos.

La empresa OPERADOR DE TELEMETRÍA fue el encargado de la instalación y calibración de los equipos de telemetría Geotab Go7 en los vehículos mezcladores 349, 351, 360, 401 y 446, para esta instalación se usó el puerto OBD de cada camión.

2.7.5 Verificación de dispositivos de telemetría instalados.

Se hace una inspección y verificación de los equipos de telemetría instalados a los cinco (5) vehículos asignados. No se tiene control sobre las variables a medir porque dependen del vehículo escogido y de las computadoras instaladas en los mismos. Sin embargo, se va tomar para cada vehículo las variables necesarias para el presente trabajo.

2.7.6 Referencia de dispositivos.

Para este estudio se utilizaron los dispositivos Geotab Go7, un modem móvil de tecnología avanzada con GPS de alta precisión, con antenas internas para conectividad del GPS, está controlado por circuitos electrónicos en el dispositivo, y esto es inalterable.

El dispositivo toma los datos de diversas fuentes como el motor, la transmisión, el panel de instrumentos y otros sistemas internos o componentes del vehículo, al utilizar redes internas capturando la gran parte de datos y obteniendo la mayor recopilación de información.

2.7.7 Instalación y tamaño.

La instalación es muy rápida y sencilla el dispositivo Geotab Go7 ver **Figura 2-6** se conecta directamente en el puerto OBDII¹³ del camión, si el vehículo no dispone del puerto OBDII se utiliza un adaptador para el tipo de vehículo.

¹³ Puerto OBDII: On-Board Diagnostics (Diagnósticos a bordo) encarga de leer los sensores, monitorear actuadores y recolectar datos, para hacer un diagnóstico de errores, y posibles fallas en los sistemas funcionales del camión

Figura 2-6 Según el manual de uso del Dispositivo telemétrico Go7.



Fuente: GO7 2020

2.8 Caracterización del vehículo la Mack GU813 mezcladora.

Los vehículos en el proceso de estudio son mezcladores con la referencia de la Mack GU813 [20] mezcladora, este vehículo es un camión tipo doble troque 6 por 4, cuenta con tres ejes de los cuales el primero es un eje libre de tracción y con unas llantas de mayor perímetro radial para generar estabilidad en la parte delantera al tiempo este genera el direccionamiento que lo proporciona diferencial hidráulica que se incorpora al motor con una bomba de transferencia hidráulica, esto suele permitir estabilizar el vehículo en las curvas. En la parte trasera cuenta con un tándem de dos ejes con doble llanta en cada pacha, este cuenta con tracción en las cuatro ruedas y dos transmisiones una en cada eje del tándem, las transmisiones cuentan con un arrastre de anti-patinaje para ser activada en terrenos con escombros de difícil acceso.

2.8.1 Motor la Mack GU813 mezcladora.

Figura 2-7 Modelo Mack MP8 Marca Volvo Tipo Vocacional – Construcción.



Fuente: (MacKtrucks, 2020)

El motor mp8 ver **Figura 2-7** es un motor Volvo de 6 pistones, tecnología euro 4 de 13 litros cuenta con un rango de potencia desde 340 a 440 hp (caballos de fuerza) y un rango de torque de 1250 a 1620 lb-ft. gracias a que es turbo alimentado con un intercooler incorporado; El mp8 es más ligero y emite menos CO₂ que los motores convencionales, este es un avance tecnológico con los que cuenta este motor además viene equipado con un freno de motor Mack. El PowerLeash del MP8 ofrece disminuir potencia al frenar el camión Mack. Es sorprendente el rendimiento a velocidad media adicional a que cumplen con los nuevos estándares de emisiones y potencia.

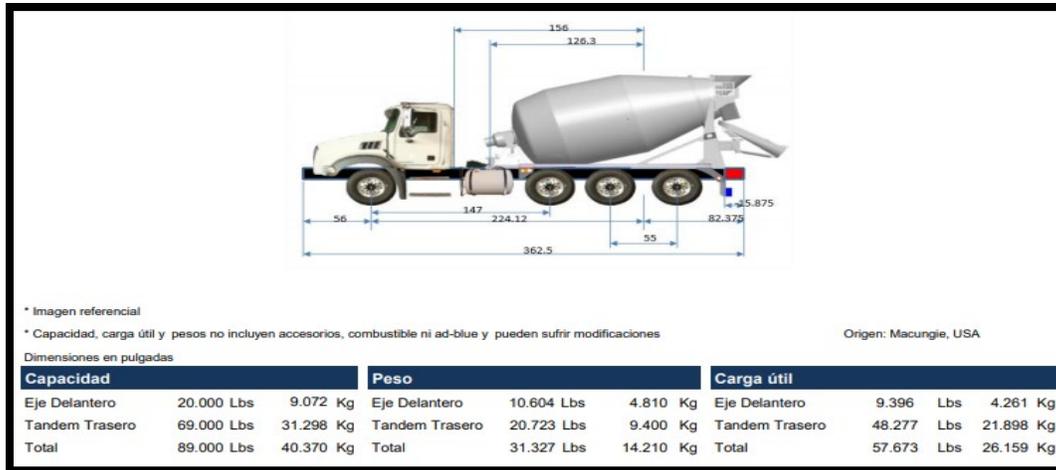
El motor es un mp8 incorpora un freno en el motor que disminuye el torque y es característico del Mack al intervenir los inyectores dejan de suministrar combustible a los cilindros de combustión. haciendo una economía sustancial en el proceso de frenado del vehículo.

2.8.2 Carrocería.

se incorpora al chasis una mezcladora o mezcladora de concreto [20] con una bomba hidráulica acoplada a la caja de marchas del motor, este equipo tiene como función convertir

la energía hidráulica en energía de potencia la cual desarrolla movimientos mecánicos del equipo, a continuación, en los numerales 2.5.3 al 2.5.5 las características especiales a simple vista ver **Figura 2-8**.

Figura 2-8 Características de la Carrocería.



2.8.3 Caja de velocidades.

Conocida como maxi torque [21] T310 MLR con un número Cambios 10 Adelante / 2 Atrás, esta caja de cambios es la encargada de suministrar la fuerza motriz para que la bomba del equipo del mezclador funcione. Las transmisiones del tándem convierten esa energía potencial en energía cinética.

2.8.4 Características de transmisiones.

Los 3 ejes del camión son los mismo en referencia similar de dos ejes traseros y la distancia entre ejes es la misma para del 6 por 4 que para el 8 por 4 la única diferencia relativa entre los dos vehículos es que hay es un eje flotante adicional que se puede incorporar a la resistencia de la carga según las necesidades de conducción esto permite mayor estabilidad al peso en el caso de alcanzar el umbral de peso torque característicos en el Mack.

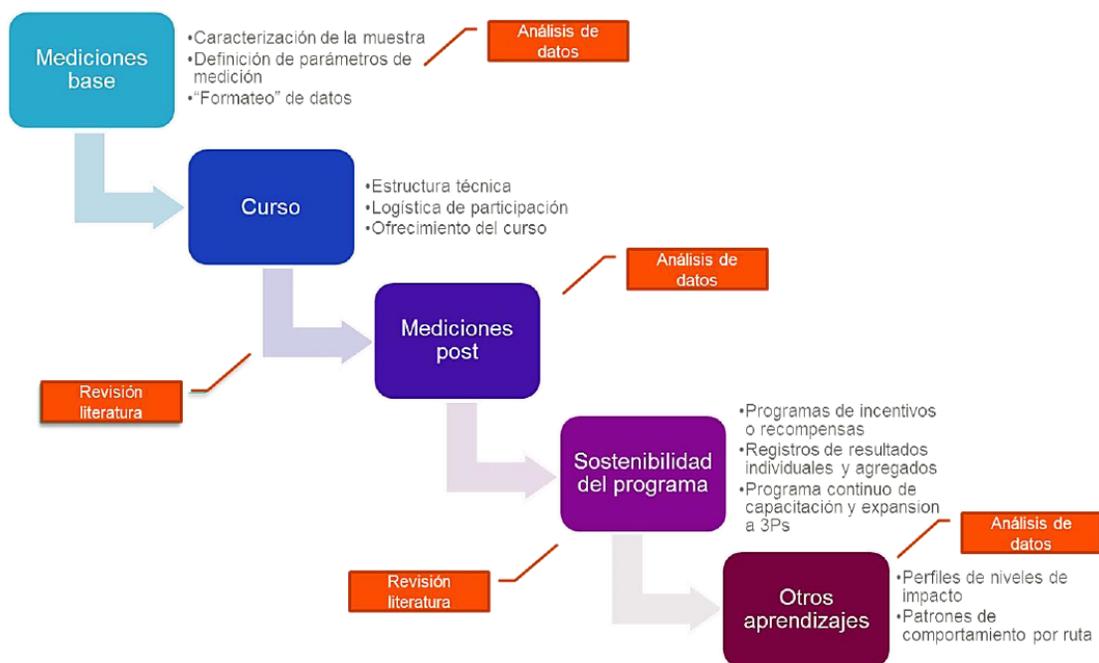
2.8.5 Bomba hidráulica.

Bomba hidráulica de alta potencia que le permite girar el equipo en el traslado de concretos, como parte del equipo cuenta con un tanque de agua de 500 litros y este con su debida bomba para hacer un lavado preventivo al equipo en el momento que se entrega la carga, para evitar el póstumo deterioro en la parte interna del equipo. En el equipo también está la bomba de servo transmisión que es la encargada de generar la potencia para que el equipo convierta la energía hidráulica en energía potencial y así hacer el mezclado de las masas de concreto dentro del mezclador.

3.Procedimiento descriptivo.

En la siguiente figura, se muestra el procedimiento típico que se realiza cuando se implementa un programa de *conducción eficiente* en una flota:

Figura 3-1 Programa de conducción eficiente en una flota.



Fuente: Giraldo N., LOGYCA, 2015

Tomando como base la **Figura 3-1**, para el presente proyecto se realizaron los siguientes pasos:

1. Como se expresó en el capítulo anterior, para el presente proyecto se escogieron cinco (5) vehículos con sus correspondientes conductores para ejecutar las fases relacionadas con toma de datos y análisis. Se aclara que se conservaron los mismos camiones con los correspondientes conductores.
2. Mediciones base: Se hicieron en lo que se denomina la *Etapa I*, se hizo el alistamiento inicial de los vehículos, la puesta a punto y calibración de los equipos de telemetría; y se tomaron datos administrativos, de operación y telemetría durante

noventa (90) días de todos los vehículos. Estos datos fueron analizados a profundidad con el enfoque de determinar factores y variables que permitieran la definición de una línea base, la cual, posteriormente sería la base de comparación.

3. Curso: Se realizó el curso de conducción eficiente o *ecodriving* a los conductores, abarcando todas las dimensiones tanto humanas, como administrativas y técnicas para el mejor manejo de los vehículos. Y enfocado a estrategias para disminuir el consumo de combustible de los vehículos.
4. Mediciones post: Se hicieron en lo que se denomina la *Etapa II*, se hizo la revisión de los vehículos, de los equipos de telemetría; y se tomaron datos administrativos, de operación y telemetría durante setenta y dos (72) días. Con estos datos se hicieron los análisis iguales a los que se realizaron en la Etapa I, con el fin de establecer un escenario de comparación objetivo de lo que sucedió antes y lo que sucedió después del curso de conducción eficiente.
5. Sostenibilidad del programa: Basados en los análisis y comparación entre la Etapa I y la Etapa II se hicieron las correspondientes recomendaciones a la empresa para poder garantizar la continuidad de la conducción eficiente por parte de los conductores.

A continuación, se pasan a describir los aspectos más relevantes realizados dentro del presente estudio.

3.1 Descripción de datos.

Se establece como objeto en este estudio analizar cinco vehículos escogidos de forma aleatoria que fueron operados de manera permanente por los mismos conductores, se utiliza la telemetría para capturar la información de muestreo durante la operación, por medio de dispositivos GO7 (ver 2.7.7) instalados y calibrados por la empresa NAVISAF®, la empresa ha verificado previamente la veracidad de los datos.

Se hace un análisis de datos en la primera y segunda etapa, mediante la investigación cuantitativa con un método deductivo, esto permite cuantificar los datos y formular la prueba de hipótesis en función de eliminar, descartar o rechazar una hipótesis, sino que también, permite la relevancia de las variables, midiendo la reducción relativa o absolutas de dichas variables marcadas en la propuesta disminución de consumo de combustible.

Se aplican métodos estadísticos [22] con el propósito de hacer la prueba de normalidad, diferencia de medias, prueba de hipótesis, pruebas de correlación, regresión lineal y múltiple. Este tipo de análisis permite dilucidar y analizar el comportamiento de las variables en estudio [23]. De la misma forma, el nivel de confiabilidad que permite este tipo de trabajo proporciona elementos de análisis que aportan al mejoramiento de la técnica y presentar conclusiones y recomendaciones. En síntesis, las variables que se analizaron en este estudio, son: kilometraje, carga, consumo, edad del conductor y viajes por vehículo.

A continuación, se relacionan las variables que se analizaron en el presente trabajo:

3.1.1 Kilometraje.

El kilometraje es un indicador básico y primordial para la flota de carga, la importancia de su correcta medición permite obtener un cálculo más exacto de distancias recorridos durante los viajes realizados, se toman de forma satelital o de forma diaria por lectura del odómetro por cada vehículo, con este dato se puede comparar traslado o viajes innecesarios e investigar el motivo.

3.1.2 Carga.

La carga es el peso a transportar, genera una resistencia y debe ser superada por el motor al ponerse en movimiento, la carga máxima es el peso superior permitido, incluye el peso bruto vehicular, (PBV)¹⁴ [24], los vehículos utilizados en este estudio poseen una capacidad de carga máxima de 8m³ de concreto y su (PBV) es de 28000 kg [20], la carga puede ser relevante de acuerdo al requerimiento del cliente o la obra que solicita el tipo de concreto a abastecer.

¹⁴ (PBV) Peso Bruto vehicular: Equipo de un vehículo abastecido de combustible equipo auxiliar y el máximo de carga

3.1.3 Consumo.

El consumo de combustible en los vehículos mezcladores es el ACPM, que es una sustancia derivada del petróleo, tiene la capacidad de liberar energía cuando es sometido a alta presión y se oxida en forma brusca con desprendimiento de calor, generando energía mecánica y térmica.

3.1.4 Edad del conductor.

El conductor es la persona habilitada, experta técnica y teóricamente, para dirigir el vehículo [24], debe de tener licencia C2 de servicio público para camiones rígidos expedida por Ministerio de Transporte según la resolución 1349 del 2017 y mayor de 18 años, con experiencia mínima de 2 años operando vehículos de carga.

3.1.5 Viajes seleccionados.

Los viajes seleccionados fueron realizados a diferentes obras en las diversas localidades de la ciudad de Bogotá, Cada vehículo fue operado por el mismo conductor durante las dos etapas, sin embargo, los vehículos se transportan a la obra con diferentes cargas, y pueden hacer máximo 5 viajes durante el día, existe un reporte a la central “*saliendo de Obra*” donde se desplazan de la obra hacia la planta sin carga.

3.2 Indicadores construidos.

3.2.1 Rendimiento de combustible.

Esta medida indica la distancia alcanzada con un volumen de combustible específico en el vehículo se formula en kilómetros (km) o en millas por litro o galón (gal) y su recíproco es el de consumo, en este caso se hace un análisis descriptivo usando los indicadores [*km/L*, *km/gal*] y se incluye el rendimiento usando los valores de carga como son [*m³/L*, *m³/km*, *m³/gal*].

3.2.2 Consumo de combustible.

El consumo de combustible es la cantidad de galones consumidos por cada km recorrido del camión se expresa generalmente **[gal/km] o [litros/km]**, el consumo es el recíproco del rendimiento, está vinculado a variables como: las características del vehículo, carga transportada, ruta y calzada donde circula, y obedece en gran parte de la forma de conducir. Este indicador es fundamental en la estructura de costos de operación vehicular como factor variable de la potencia consumida al arrancar, representa aproximadamente un tercio de la energía disponible y depende, sobre todo, del peso bruto vehicular en cierto modo con este indicador se puede valorar desempeño del conductor.

Para la empresa de camiones de carga el consumo es un valor operativo que es el recíproco del rendimiento y determina el consumo con respecto a un km, (L/km, gal/km, L/ m³).

3.2.3 Indicadores de carga.

Uno de los objetivos de este estudio es identificar las variables que pueden estar relacionadas con el consumo de combustible, al recopilar una gran cantidad de información y hacer un análisis detallado enfocado en la carga, abre la posibilidad de obtener información valiosa e importante. Los indicadores planteados para la carga son: **(m³.km) /gal, (m³.km) /L, gal/(km.m³), L/(m³.km)**

3.3 Recolección de datos.

Los datos fueron recopilados en dos etapas: en la primera etapa se realizó entre enero a marzo, y la capacitación de los conductores se realizó entre junio y julio, Para segunda etapa los datos recolectados se llevaron a cabo entre agosto a octubre del 2019, por la firma tecnológica encargada de instrumentar, calibrar y monitorear permanentemente las diferentes variables de los cinco camiones escogidos.

Los datos que se reportados por la telemetría OPERADOR DE TELEMETRÍA, para las matrices distancia y consumo, constituidas así:

3.3.1 Matriz de distancia.

La matriz de distancia reportada por el sistema se ha exportado a una hoja de cálculo, donde se encuentran los siguientes datos, número interno del mixer, planta donde pertenece el vehículo, nombre de conductor, apellidos de conductor, unidad de negocio Puente Aranda, grupo de conductores o tipología bomba o mezcladora, detalle del viaje, fecha hora de inicio, detalle del viaje para distancia, detalle de latitud del viaje, ubicación detallada, posición de vehículo, horas de trabajo en distancia. Un ejemplo de cómo se recolectaron los datos se puede ver en la **Figura 3-2**.

Figura 3-2 Matriz reportada para distancia.

Dispositiv	Grupo de	Nombre	Apellido	Conducto	Grupo de	Fecha de	Fecha de	Distancia	Duración	Ubicación	Tipos de zonas de parada
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.3045	43678.3161	1,24279916	0,0153125	Planta Puenti	Zona de Parqueo autorizado, Principal (
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.3314	43678.3317	0,01738162	0,01509259	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, Zona de Parqueo aut
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.3468	43678.3473	0,02705818	0,00185185	Planta Puenti	Zona de Parqueo autorizado, Principal (
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.3491	43678.3501	0,05633279	0,00578704	Tiempo Post	Principal Carga, Zona de Parqueo autor
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.3559	43678.399	14,0132685	0,01607639	4163676 FRE	Customer Zone, Principal Obra Cliente,
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.415	43678.4182	0,14202219	0,00341435	4163676 FRE	Customer Zone, Principal Obra Cliente,
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.4216	43678.4561	12,7143574	0,02560185	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, Principal Carga, Zon
MIXER 349	PUENTE AR	J	0	0	0	43678.4817	43678.4827	0,0816641	0,0034838	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, Zona de Parqueo aut
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.4861	43678.5168	12,9975281	0,00447917	4167647 MA2	Home Zone, Principal Obra Cliente, Ciu
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.5213	43678.5221	0,02241324	0,01986111	4167647 MA2	Home Zone, Principal Obra Cliente, Ciu
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.542	43678.542	0,00253625	0,00407407	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, Home Zone, Princip
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.5461	43678.5894	15,0639753	0,00239583	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, Zona de Parqueo aut
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.5917	43678.6014	0,24024798	0,01094833	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, Zona de Parqueo aut
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.6123	43678.6275	8,01892376	0,00234954	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.6298	43678.6304	0,04395002	0,0487963	4165632 BUF	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.6792	43678.6797	0,04441641	0,00686343	4165632 BUF	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.6866	43678.6868	0,01384703	0,00255787	4165632 BUF	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.6894	43678.6916	0,07180575	0,01435258	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.7059	43678.7064	0,00382377	0,00287037	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.7092	43678.71	0,02986797	0,01155093	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.7216	43678.7231	0,00907256	0,00341435	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.7266	43678.7266	0,00378484	0,00849537	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.7351	43678.749	7,8694787	0,00492983	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, Principal Carga, Zon
MIXER 349	PUENTE AR	Jhon William	Bermudez	Rc casique2077	(PUENTE AR)	43678.7539	43678.7602	1,37916529	0,55784722	RMX Bogota,	Ciudades-Plantas, 021. Zona de Taller /

Fuente: Propia 2020.

3.3.2 Matriz de consumo.

A continuación, una franja del modelo con los datos arrojados por el sistema para la matriz de consumo donde se encuentra la siguiente información. Dispositivo del vehículo mencionado con numero interno, la planta operativa, Fecha relaciona (minuto, hora, día, mes, año), cantidad de combustible utilizado, Consumo en ralentí, y el valor en consumo. Ver la **Figura 3-3**

Figura 3-3 Información obtenida por el dispositivo telemétrico de consumo de combustible.

Dispositivo	Grupo de dispositivos	Fecha	Descripción	Fuente	consumo
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 8:07:27 AM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231377 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 8:41:23 AM	Cantidad total de combustible utilizado en ralentí	Telematics Device	88856,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 8:41:23 AM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231378,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 10:41:05 AM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231378,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 11:04:42 AM	Cantidad total de combustible utilizado en ralentí	Telematics Device	88859 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 11:04:42 AM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231381 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 11:11:53 AM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231381,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 12:11:52 PM	Cantidad total de combustible utilizado en ralentí	Telematics Device	88860 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 12:11:52 PM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231392,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 2:01:17 PM	Cantidad total de combustible utilizado en ralentí	Telematics Device	88863,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 2:01:17 PM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231403,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 8:18:40 PM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231403,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 8:25:39 PM	Cantidad total de combustible utilizado en ralentí	Telematics Device	88863,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 8:25:39 PM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231403,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 8:26:13 PM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231403,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 9:26:12 PM	Cantidad total de combustible utilizado en ralentí	Telematics Device	88865,5 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 9:26:12 PM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231405 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 9:40:53 PM	Cantidad total de combustible utilizado en ralentí	Telematics Device	88866 L
MIXER 349	PUENTE ARANDA, MIXER	ene. 02, 2019 9:40:53 PM	Cantidad total de combustible utilizado	Telematics Device	231405,5 L

Fuente: Propia 2020

3.3.3 Matriz de carga.

Los datos obtenidos en la matriz de carga almacena la información sistematizada de origen a destino y se construye en la empresa del mixer en el área de despacho, por la persona encargada en la planta, el proceso de esta información está constituida así:

Fecha, Cliente nombre Obra despacha el concreto, Cantidad despachada en (m³), Salida Planta, En Obra, A Planta, En Planta, Número interno mezcladora, Nombre y apellido del conductor.

Para ambos períodos, se utilizó el sistema de telemetría Go7 para registrar los datos conectado al módulo electrónico principal del vehículo con una computadora a bordo que envía la información a través de un receptor interno del sistema de posicionamiento global (GPS) y un módem 4G para datos. El sistema puede recolectar datos de más de 20 variables del vehículo de manera simultánea entre ellos fecha, hora, distancia, inicio de viaje, velocidad, tiempo en que el motor está encendido, consumo de combustible, fin de viaje, ubicación, horas de trabajo, nombre y apellido del conductor, identificación del vehículo, nombre de la obra, dirección.

Por otra parte, se contemplaron diferentes rutas, representadas en 1136 viajes para las dos etapas donde los vehículos fueron operados por los mismos conductores y son autónomos para tomar la ruta que considere más oportuna.

3.4 Procesamiento de datos.

3.4.1 Organización de datos.

Dentro del procesamiento de datos de las tres matrices que fueron recolectadas, se triangula en información sólida que permitió encontrar valores atípicos extremos en las variables más relevantes y que fueron producto de este estudio: km, carga y consumo.

En efecto los datos íntegros se seleccionaron desde la hora de inicio hasta la hora final identificados al día a día de cada vehículo para ambas etapas de esta manera se enfrenta la cantidad de máxima viajes en un día son 5 y la mínima 1.

3.4.2 Determinación de datos atípicos.

La depuración de datos se enfatiza el consumo de combustible durante el desplazamiento solo con carga, No se toma en cuenta el desplazamiento sin carga, y el consumo durante un desplazamiento, el producto de estos resultados varía la normalidad de los datos y sus características son:

El vehículo se desplazó, pero No tuvo carga, No se tiene evidencia el por qué, o el motivo del desplazamiento cuando tiene un alto km, puede ser que los vehículos viajaron vacíos a otra ciudad, y el consumo de combustible se refleja. teniendo en cuenta los viajes calculados donde el vehículo está cargado, Cabe mencionar que una mezcladora de cemento entrega su carga y se devuelve vacío, la ventana de tiempo de trabajo es el día siempre que esté cargado, no se toman en cuenta los datos del vehículo que no tienen carga.

3.4.3 Identificación de variables relacionadas con el consumo de combustible.

Acorde con lo especificado en el numeral 1.2.8 y el numeral 2.4.1.3 en flotas vehiculares los factores que influyen en el consumo de combustible están relacionados con aquellas variables que consumen directamente de la potencia del motor, siendo el más importante el peso (carga) que tenga el vehículo, o peso que el motor debe arrastrar a través de la transmisión. Además, se encuentra también que hay otros factores que influyen este consumo que tienen que ver, entre otros con *operación* de la flota como puntos de inicio y final de cada ruta; *mantenimiento* de la flota para que el vehículo opere en condiciones satisfactorias; *capacidad de los conductores* para operar el vehículo y *condiciones particulares* de las rutas como tráfico o clima [17].

Teniendo en cuenta lo anterior, para el presente estudio se establecieron inicialmente los diferentes factores que influyen en el consumo de combustible de los camiones mezcladores de cemento. Estos factores se clasificaron de la siguiente forma:

- *Relacionados con los camiones*: modelo, capacidad de carga, potencia, torque, peso, cilindrada, relación de compresión, relaciones de caja, transmisiones.
- *Relacionados con conductores*: edad, experiencia, escolaridad, antigüedad en la empresa, sexo.
- *Relacionados con la operación*: distancia recorrida, km total del vehículo, fecha, conductor, carga, viajes, rutas, cliente, obra, hora.
- *Relacionados con otros factores*: clima, mantenimiento, estado de la vía, señalización, logística.

Se hizo un análisis detallado con todas las variables relacionadas con el consumo de combustible en la flota de mezcladores y se descartaron algunas variables porque se consideró por diferentes motivos que estas variables descartadas no tenían un aporte importante frente al consumo de combustible. A continuación, se especifican las razones por las cuales se descartaron ciertas variables:

- *Relacionados con los camiones*: se descartó el modelo, la capacidad de carga, la potencia, el torque, el peso, la cilindrada, la relación de compresión, las relaciones de caja, y transmisiones por que los vehículos son de la misma marca y presentan

similitud en estas variables, lo cual no permiten hacer una diferenciación frente al comportamiento del consumo.

- *Relacionados con conductores:* se descartó la experiencia como la escolaridad, y la antigüedad porque entre los conductores que se escogieron no hay diferencias en esas variables. Se descartó la variable de sexo por que todos los operadores son de sexo masculino, por ende, no había diferencia.
- *Relacionados con la operación:* se descartó la variable de km totales recorridos del vehículo por que los camiones escogidos presentaban kilometrajes similares y no hay diferencias en esos valores presentados. Se descartan las variables de fecha, cliente, obra, hora, porque son completamente variables y no se puede hacer un análisis de influencia frente al consumo. Se descartó la variable de conductor porque cada conductor escogido presenta un desempeño frente al vehículo asignado durante la operación en las dos etapas, por lo cual el análisis está enfocado al camión. Se descartó la variable de rutas por que en este tipo de vehículo no hay rutas definidas.
- *Relacionados con otros factores:* se descartan las variables de clima, mantenimiento, estado de la vía, señalización, logística; por qué no se obtuvo información de estas variables y permanecen en constante cambio.

Para el presente estudio en la flota de los cinco mezcladores, las variables con relación importante frente al consumo de combustible seleccionadas son:

- *Relacionados con los camiones:* consumo de combustible en [L].
- *Relacionados con conductores:* edad
- *Relacionados con la operación:* distancia recorrida, carga, viajes.

Los camiones mezcladores seleccionados en este estudio cuentan con un motor mp8 que transmite su potencia en dos partes, una en la transmisión del camión y otra en la bomba hidráulica de transferencia que es la encargada de mover olla o tarro de mezclado en el vehículo. En lo anterior para poder estudiar el consumo de combustible en mezcladores de cemento se hace necesario establecer las variables de rendimiento en consumo de combustible y carga para los indicadores clave son: [m^3/L , ($m^3 \cdot km$) /L]. Este análisis de consumo se realiza de esta manera dentro del ámbito operativo, táctico y estratégico, para vehículos mezcladores.

3.4.4 Determinación de indicadores.

Los indicadores fueron seleccionados de acuerdo al consumo de combustible gastado con el vehículo cargado y su comportamiento frente a las distancias recorridas, como se muestran a continuación: [m^3/L , m^3/gal , L/m^3 , $(m^3km) /L$, $L/(m^3km)$].

3.5 Análisis estadístico.

Para esta investigación cuantitativa se evaluaron los siguientes indicadores

Rendimiento: [km/L , km/gal , m^3/L , m^3/km , m^3/gal]

Consumo: [L/km , gal/km , L/m^3]

Logístico: [$(m^3km) /gal$, $(m^3km) /L$, $gal/(kmm^3)$, $L/(m^3km)$]

En los resultados obtenidos a través de estadística descriptiva, en cada uno de los indicadores, se logró, determinar, el tamaño de la muestra, tendencia central (mediana y media) idéntica a la distribución simétrica de los datos, la desviación estándar o dispersión de datos, los puntos máximos y mínimos, se identificaron valores atípicos (ver anexo1).

3.5.1 Pruebas de normalidad.

Se realiza una prueba de normalidad en cada uno de los indicadores escogidos para comprobar visualmente si los datos siguen una distribución normal y simétricos, los puntos representan los datos, siguen la línea de distribución ajustada, en este estudio se utiliza el estadístico de Kolmogórov-Smirnov o prueba K-S, es una prueba aplicable al comparar dos grupos que se tienen muestras con datos independientes y no paramétricos, el tamaño de la muestra, es $(n) > a 30$, se asume igualdad entre poblaciones, para calcular el valor p (o significancia bilateral) y compararlo con el nivel de significancia 0.05.

3.5.2 Pruebas de hipótesis sobre medias.

Este estadístico se usa para determinar si hay diferencias significativas de medias, Las pruebas de hipótesis se hace para comparar los indicadores de interés en la población de etapa I con los indicadores de la población de etapa II, el valor de p es una posibilidad que mide la evidencia, se compara con el nivel de significancia para evaluar la hipótesis nula, el cual indica que las medias de la población son iguales. Se obtiene al aplicar el estadístico de prueba Z para una porción poblacional [22], aunque las desviaciones estándar poblacionales son desconocidas y con muestras independientes de tamaños mayores a 30 ($n \geq 30$) datos en ambas etapas, con un nivel de significancia del 5 %. (ver Ecuación (1)).

$$Z = \frac{x - nP}{\sqrt{nPQ}} \quad (1)$$

Z = prueba estadística

n = Tamaño de la muestra

P = Proporción Poblacional (5 vehículos)

Q= 1 – P

\bar{x} = media de muestra

3.5.3 Regresión multivariada.

Este tipo de análisis ayuda a determinar qué tan bien se ajusta el modelo a los datos en los indicadores, usando la ecuación de regresión múltiple. (ver Ecuación (2)).

$$y = a + b1 * x1 + b2 * x2 + bn * xn \quad (2)$$

y = Valor de pronóstico o Variable Dependiente (Consumo galón)

a = Intersección en Y ó línea de regresión

$b1, b2$ = Pendiente de la Ecuación

$x1, x2$ = Variables Independientes (Edad, Distancia km, Carga, Viajes)

4. Resultados y Análisis.

4.1 Vehículos y conductores.

4.1.1 Análisis técnico de vehículos.

Los vehículos (mezcladores) escogidos para este estudio son: con características similares, como modelos, motor MP8 de 6 pistones de 13 litros, tecnología euro IV, con potencia 440 HP, rango de torque de 1250 a 1620 lb-ft, incorpora un freno en el motor que disminuye el torque al frenar, el motor se acopla a una caja de cambios maxi torque de 10 marchas hacia adelante con dos series de 5 cambios. El camión posee 3 ejes, un eje delantero y dos ejes traseros de referencia similar, su carrocería se complementa al chasis llevando un trompo hormiguero o mezcladora de concreto con una bomba hidráulica acoplada a la caja de marchas del motor, este equipo tiene como función convertir la energía hidráulica en energía potencial la cual desarrolla movimientos mecánicos del equipo, se adjunta un tanque de agua de 500 litros acompañado de su bomba de agua para lavado del equipo, (ver anexo 6 ficha técnica de camión).

En la **Tabla 4-1** se muestra el listado de vehículos seleccionados por número de mezcladora y modelo

Tabla 4-1 Vehículos Seleccionados.

MEZCLADORA	MODELO	TIPO
349	2006	Mack Granite 13L 400hp
351	2006	
360	2006	
401	2007	
446	2008	

Fuente: Propia 2020.

La bomba hidráulica se alimenta mediante una caja de transferencia que va al motor, en consecuencia, el motor no solamente proporciona potencia mecánica a la transmisión y

accesorios, sino que también a la bomba, por lo tanto, cualquier lectura de combustible incluye el tren de transmisión, accesorios y bomba hidráulica. No hay forma de separar el consumo ocasionado por estas tres demandas de los tres sistemas, porque no fue posible discriminar la lectura del consumo, es decir el consumo que se lea del camión incluye las tres demandas.

4.1.2 Análisis de conductores.

Para los vehículos se eligieron cinco conductores seleccionados aleatoriamente de sexo masculino, que oscilan entre las edades de 20 a 60 años, con un nivel de educación básico, la experiencia varía entre nueve a once años de conducción en diferentes vehículos de carga y pasajeros, según la **Tabla 4-2**.

Tabla 4-2 Conductores con edades.

CONDUCTOR	INICIALES DE NOMBRE	EDAD [años]	EXPERIENCIA [años]
C1	BRJW	42	10
C2	AM	52	9
C3	EC	33	8
C4	JM	48	11
C5	GD	45	9

Fuente: Propia 2020.

4.2 Rutas y viajes.

4.2.1 Ruta.

Se destacan que las obras de mayor solicitud de concreto (hormigón) se encuentran distribuidas en las diferentes localidades de Bogotá, para la entrega del hormigón las rutas son aleatorias, dependen: del cliente, la hora, el clima, la señalización, sin embargo, el conductor es autónomo en escoger la ruta más apropiada, es beneficioso que la empresa tenga varias plantas en Bogotá, lo cual explica la cantidad de viajes cortos por las diferentes localidades y en consecuencia el bajo consumo combustible para diferentes cargas. A

continuación, en la **Tabla 4-3** se observa un resumen detallado en una ruta, en la columna de descripción se encuentra la información base del vehículo, conductor, localidad donde se encuentra ubicada la obra, tiempo de desplazamiento ida y regreso, nombre de la obra, consumo reportado en litros, velocidad promedio, para este caso el camión se desplazó por la localidad de Kennedy con un tiempo real de 3 horas 12 minutos, tiempo real en obra. así mismo en la **Figura 4-1** Ruta realizada representa la ruta realizada por el vehículo para esta misma obra. La información de los datos fue obtenida por telemetría.

Origen: Planta Puente Aranda-obra. Destino: Localidad Kennedy, obra Pinar Novalena

Reporte: Saliendo de planta, en obra, saliendo de obra, en planta.

Rutas: El conductor tiene la autonomía de buscar la ruta de acuerdo

- A la dimensión del vehículo
- A las normas de tránsito para vehículos de carga.

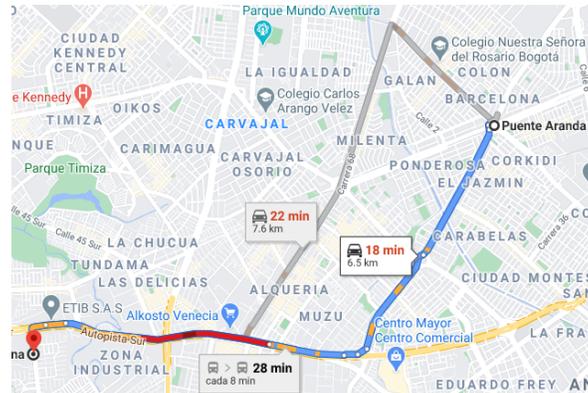
Una ruta es la de origen destino de ida a llevar una carga a un cliente o una obra y otra ruta es de origen destino de vuelta, es decir de la obra a la planta. En un día un camión puede hacer varias rutas a diferentes clientes, la cantidad de rutas realizadas en un día dependen también del tiempo que demora descargando en obra, por ello hay vehículos que en día solo hicieron uno o dos viajes.

Tabla 4-3 Descripción de ruta.

DESCRIPCION	VALOR
Fecha	8/02/2019
Mezcladora	349
Conductor	C1 -BRJW
Localidad	Kennedy
Tiempo de desplazamiento ida y vuelta	1 hora
Obra	Pinar Novalenta
Consumo	76,5 L
Velocidad promedio mínima	18 m/s
Velocidad promedio máxima	55 m/s
Tiempo real de descarga	3 h ,12minutos

Fuente: Propia 2020

Figura 4-1 Ruta realizada



Fuente: Propia 2020

4.2.2 Análisis de viajes realizados

En la siguiente **Tabla 4-4** Viajes realizados, se observa que durante la operación en la etapa I, se hicieron más viajes, con menos carga. En la etapa II, se hizo más carga, con menos viajes. Esto se debe a que los mezcladores no transportan el mismo volumen de carga en cada viaje. Hay que resaltar que la demora en la obra descargando, puede variar entre 10 minutos hasta 3 horas, Entonces los viajes realizados en un día oscilan de 4 a 5 con diferente volumen en carga. Esta diferencia entre viajes y carga se debe a la necesidad y tipo de carga solicitada por el cliente, y al extenso tiempo en el descargue. Así mismo el mezclador no utiliza toda su capacidad total (8 m³) de carga, dado a que la empresa no cuenta con vehículos de menor capacidad para viajes de 1 a 3 m³, como “el ajuste” o cantidad de concreto solicitado por el cliente para dar terminación a la fundida en la obra.

Tabla 4-4 Viajes realizados.

MEZCLADORA	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II
	VIAJES [Cantidad]		CARGA [m ³]	
349	93	147	971,0	603,8
351	116	153	1014,2	705,8
360	100	143	907,5	640,8
401	95	140	931,5	563,0
446	83	62	430,8	528,0
Total	487	645	4255,0	3041,3

Fuente: Propia 2020.

4.3 Variables de indicadores claves para el estudio.

Se establecieron atendiendo la literatura, un total de treinta (30) factores relacionados con el consumo de combustible en flotas de vehículos. De este total de variables, se determinaron cinco (5) variables, las cuales se consideraron relevantes para estudiar en el presente trabajo. Estas variables fueron carga [m^3], distancia recorrida en [km], cantidad de viajes, edad de conductor, y consumo de combustible en [L] como variable dependiente (ver numeral 3.4.3). Y teniendo en cuenta el análisis de estas variables frente a la operación de la flota, además de que el tipo de flota es de mezcladores de cemento, se encontró que para propósitos de análisis de consumo o rendimiento de combustible los indicadores clave son [m^3/L] y [$(m^3 km) /L$]. Lo anterior dado que el consumo o rendimiento de combustible en este tipo de flotas no se puede analizar únicamente con los indicadores [km/L] y [$km.m^3/L$].

Se realizó una búsqueda de estrategias para la reducción del consumo de combustible en flotas de vehículos y se encontró que el *ecodriving* o conducción eficiente presenta una reducción entre el 1 y el 15 % (ver numeral 2.4.1.3) frente a otras estrategias como: reducción peso del 1 %, mejoras aerodinámicas del 11 %, reducir la velocidad en un régimen óptimo del 16 %, mantener la presión de los neumáticos del 2 %, entre otras. Por otro lado, dentro del *ecodriving* o conducción eficiente, de acuerdo a la literatura, se establecieron los potenciales de reducción de consumo cuando se realizan acciones específicas como: la reducción de ralentí del 4 %, curva de par a plena carga entre el 1 y 5 %, controlar los impulsos del 1 al 5 %, conservar la distancia entre el 1 al 5 % (ver numeral 2.5.1.). Estas acciones fueron las que se tuvieron en cuenta para impartir a los conductores en la capacitación en conducción eficiente, esperando que en la práctica se logrará obtener esas reducciones.

A continuación, y teniendo en cuenta las variables seleccionadas se muestran los análisis realizados de estos datos con el fin de estudiar el consumo de combustible en la flota escogida en este trabajo.

4.4 Datos recolectados

Como se explicó en la sección 3-3, la matriz de distancia, carga y consumo, se obtiene la información en bruto proveniente de la operación, para el procesamiento de datos arrojados por telemetría, estos se transfieren a una hoja de cálculo para ser organizados desde el inicio de la operación hasta el final de la operación por día, en la determinación de datos atípicos y los indicadores de estudio. (Ver anexo 2).

Tabla 4-5 Datos organizados en Excel

DATOS	MOVIL	FECHA	SEMA NA	hora de inicial	hora de final	distancia km	Cantidad total de combustible utilizado (L)	Cantidad total de combustible (gal)	CARGA	RENDIMIENTO					consumo			logístico			
										km/L	km/gal	m ³ /L	m ³ /km	m ³ /gal	L/km	gal/km	L/m ³	(m ³ *k m)/gal	(m ³ *k m)/L	gal/(km *m ³)	L/(m ³ * km)
1	401	15/08/2019	2	6:05:59 a.m.	5:41:29 p.m.	80,9011701	60	15,8503222	16,75	0,74	5,10	0,28	0,21	1,06	0,74	0,20	3,58	85,49	22,58	0,01	0,04
2	401	16/08/2019	3	10:43:25 a.m.	4:32:56 p.m.	38,7394551	32	8,45350519	13,5	0,83	4,58	0,42	0,35	1,60	0,83	0,22	2,37	61,87	16,34	0,02	0,06
3	401	17/08/2019	3	8:41:37 a.m.	2:36:36 p.m.	38,052404	28,5	7,52890306	11	0,75	5,05	0,39	0,29	1,46	0,75	0,20	2,59	55,60	14,69	0,02	0,07
4	401	20/08/2019	3	9:06:36 a.m.	5:57:11 p.m.	27,8314521	28	7,39681704	11,75	1,01	3,76	0,42	0,42	1,59	1,01	0,27	2,38	44,21	11,68	0,02	0,09
5	401	21/08/2019	3	10:25:45 a.m.	5:42:50 p.m.	57,0747175	50,5	13,3406879	18,75	0,88	4,28	0,37	0,33	1,41	0,88	0,23	2,69	80,22	21,19	0,01	0,05
6	401	22/08/2019	3	11:34:26 a.m.	5:33:10 p.m.	54,8079717	41	10,8310535	9,25	0,75	5,06	0,23	0,17	0,85	0,75	0,20	4,43	46,81	12,37	0,02	0,08
7	401	23/08/2019	4	6:44:35 a.m.	2:29:15 p.m.	32,1851824	34,5	9,11933529	16	1,07	3,53	0,46	0,50	1,76	1,07	0,28	2,16	56,50	14,93	0,02	0,07
8	401	24/08/2019	4	7:20:03 a.m.	1:09:45 p.m.	44,3503019	32,5	8,58559121	14	0,73	5,17	0,43	0,32	1,63	0,73	0,19	2,32	72,32	19,10	0,01	0,05
9	401	26/08/2019	4	8:26:52 a.m.	4:36:21 p.m.	44,8105378	35,5	9,37810732	11,5	0,79	4,78	0,32	0,26	1,23	0,79	0,21	3,09	54,95	14,52	0,02	0,07
10	401	27/08/2019	4	7:34:30 a.m.	5:02:20 p.m.	59,0260007	55	14,5294621	19,25	0,93	4,06	0,35	0,33	1,32	0,93	0,25	2,86	78,20	20,66	0,01	0,05
11	401	28/08/2019	4	7:23:22 a.m.	4:20:09 p.m.	53,1933102	49,5	13,0765158	20,75	0,93	4,07	0,42	0,39	1,59	0,93	0,25	2,39	84,41	22,30	0,01	0,04
12	401	29/08/2019	4	8:23:42 a.m.	4:00:44 p.m.	64,1784824	47	12,4160858	17,25	0,73	5,17	0,37	0,27	1,39	0,73	0,19	2,72	89,16	23,55	0,01	0,04
13	401	30/08/2019	5	6:38:52 a.m.	3:57:28 p.m.	54,1025032	54	14,26529	19	1,00	3,79	0,35	0,35	1,33	1,00	0,26	2,84	72,06	19,04	0,01	0,05
14	401	31/08/2019	5	6:38:43 a.m.	12:19:02 p.m.	39,4651544	30,5	8,05724714	16	0,7728	4,90	0,5246	0,4054	1,9858	0,7728	0,2042	1,9063	78,37	20,703	0,0128	0,0483

fuente: Propia 2020

4.5 Indicadores y estadística descriptiva

Con los datos recolectados se realiza la estadística descriptiva, permite detectar datos atípicos y resumir en un conjunto de números la menor alteración o pérdida de información posible, es decir los datos están todos del mismo orden y permite definir que fueron tomados de una forma adecuada [22] con la estadística descriptiva se obtiene la cantidad de la muestra, en este estudio los datos estadísticos descriptivos más relevantes son: la mediana, la media, la desviación estándar y el tamaño de la muestra.

Uno de los objetivos de este estudio es identificar las variables que están relacionadas con el consumo de combustible, con base a los datos obtenidos, se encuentra que las características cuantitativas de la variable consumo dependen de los amplios

comportamientos para las variables de: kilómetro (distancia), Carga(m^3), obtenidos en la información recolectada, la comparación de estas variables arrojó los siguientes indicadores: de rendimiento: [km/L , km/gal , m^3/L , m^3/km , m^3/gal]; indicadores de consumo: [L/km , gal/km , L/m^3], Indicadores logísticos: [$(m^3 \cdot km) /gal$, $(m^3 \cdot km) /L$, $gal/(km \cdot m^3)$, $L/(m^3 \cdot km)$] (ver **Tabla 4-6** Análisis descriptivo vehículo 401. **Tabla 4-6**).

Tabla 4-6 Análisis descriptivo vehículo 401.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO											
MEZCLADORA	DESCRIPCIÓN DE ESTADÍSTICO	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II
		Rendimiento				Consumo		logístico			
		m^3/L	m^3/L	m^3/gal	m^3/gal	L/m^3	L/m^3	$(m^3 \cdot km) /L$	$(m^3 \cdot km) /L$	$L/(m^3 \cdot km)$	$L/(m^3 \cdot km)$
349	Media 349	0,355	0,418	1,345	1,583	3,26	5,771	17,952	13,853	0,065	0,118
	Mediana 349	0,356	0,233	1,349	0,884	2,805	4,29	18,13	15,221	0,055	0,066
	Desviación est	0,129	0,929	0,49	3,516	1,613	4,707	6,209	8,143	0,032	0,11
	Varianza de la	0,017	0,863	0,24	12,359	2,603	22,154	38,551	66,308	0,001	0,012
	Mínimo	0,092	0,039	0,346	0,146	1,107	0,167	5,655	1,668	0,027	0,025
	Máximo	0,903	6	3,419	22,712	10,929	25,875	36,697	40,628	0,177	0,6
	N Muestra 349	59	40	59	40	59	40	59	39	59	39
	Nivel de confia	0,034	0,297	0,128	1,124	0,42	1,505	1,618	2,64	0,008	0,036

Fuente: Propia 2020

En la **Tabla 4-6** Análisis descriptivo vehículo 401. se muestra la mezcladora, la descripción del estadístico, indicadores de rendimiento para etapa I y etapa II [m^3/gal , m^3/L], indicadores de consumo para etapa I y II rendimiento (L/m^3) e indicadores logísticos [$L/(m^3 \cdot km)$, $(m^3 \cdot km) /L$] para las dos etapas.

El análisis de columna para la desviación estándar es alto para el indicador [$(m^3 \cdot km) /L$] en las dos etapas en los cinco vehículos. El análisis de medias, dio del mismo orden para los indicadores [m^3/gal , m^3/L , $L/(m^3 \cdot km)$] e inferior para [$(m^3 \cdot km)$] en las dos etapas y en los mezcladores 349, 351, 360 y 401 (ver tabla (4-6)). Las medianas dieron del mismo orden para los indicadores [m^3/gal , m^3/L , $L/(m^3 \cdot km)$] con valores desde 0,3 hasta 1,4, es alta para (m^3/km) en las dos etapas con valores de 15 hasta 18 para todos los vehículos.

En el análisis de fila para la desviación estándar de los vehículo 349, 351, 360, 401 y 406 fue de menor valor para los indicadores de rendimiento [m^3/gal , m^3/L] en Etapa II, para el indicador de consumo [L/m^3], fue de menor valor para el vehículo 346 en segunda etapa,

para el indicador logístico $[(m^3.km) /L] ,L/(m^3.km)$, fue de menor valor en etapa II , para la media y mediana en los indicadores de rendimiento $m^3/gal, m^3/L$, se obtiene el mismo valor en las dos etapas, el indicador de consumo L/m^3 , obtuvo valores mayores en segunda etapa excepto en los vehículos 360 y 401 donde los valores son idénticos, en el indicador $[(m^3.km) /L]$ se obtienen valores idénticos en las dos etapas excepto el vehículo 360 donde etapa II obtuvo el valor más alto, (ver anexo 1). Luego se procedió a hacer una prueba de normalidad para determinar si los datos obtenidos presentan un comportamiento normal, para continuar usando la estadística.

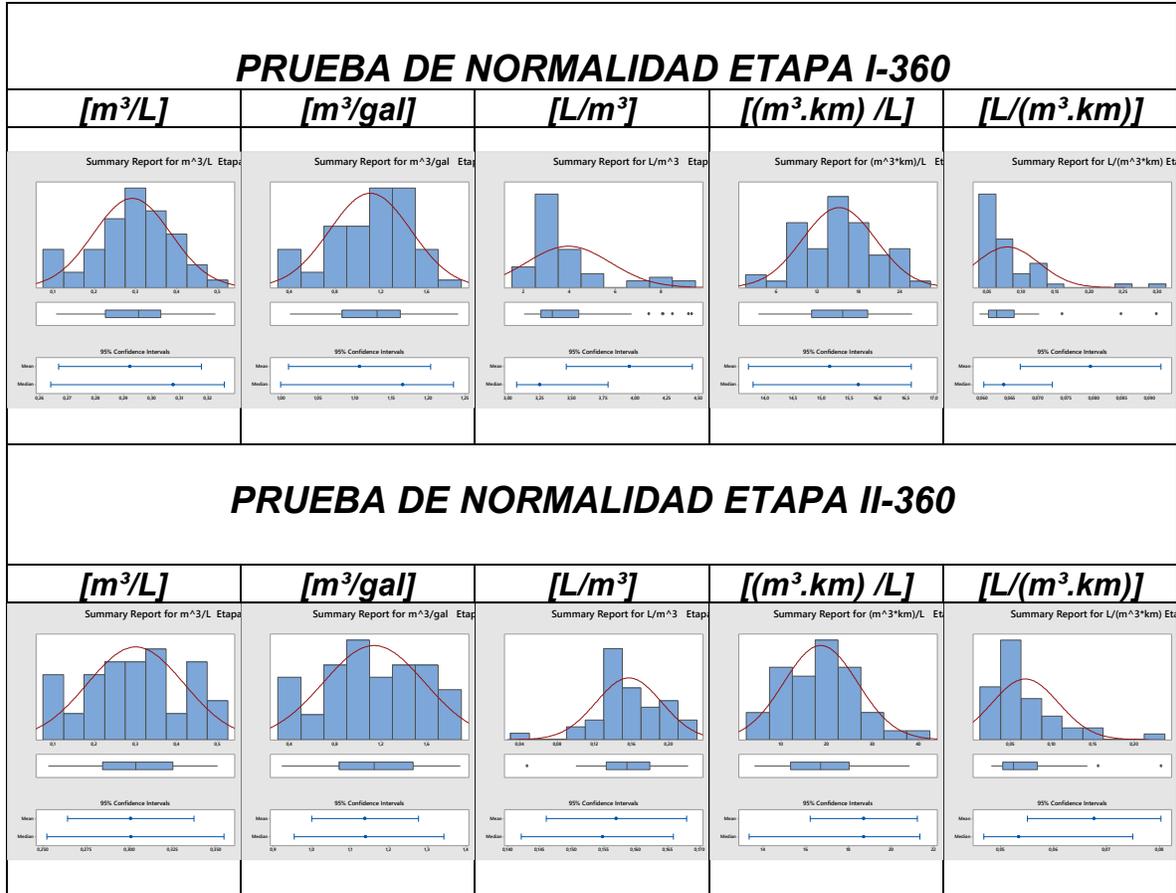
4.6 Pruebas de normalidad

Este análisis indica la distribución normal y simétrica de los datos, los puntos representados en la gráfica (ver anexo 3), siguen la línea de distribución normal ajustada los datos son para los indicadores $[km/L, km/gal, m^3/km, m^3/gal, L/km, gal/km, (m^3.km)/gal, (m^3.km)/L, gal/(km.m^3)]$, para las dos etapas en los cinco vehículos, y datos no normales, se presentan en el indicador m^3/L , etapa I para los vehículo 349, 360, y 401, en etapa II para los vehículos 351, 401y 446 en el indicador $[L/(m^3.km)]$, presentan datos no normales en las gráficas de los vehículos 360, 401 y 446, para la etapa II y 349, 360 en etapa I.

Al tratar los datos atípicos de la muestra se logró el comportamiento normalidad de los indicadores, el análisis de los histogramas se hizo incluyendo datos atípicos para conocer estos comportamientos, esto se debe a que se encontraron datos ilógicos como: un vehículo realizó 4 viajes en un día con $73 m^3$ de carga, cuándo su carga máxima es de $8 m^3$, lo cual es representativo en la prueba de normalidad.

En la **Tabla 4-7** se muestran los histogramas de normalidad para el vehículo 360 en etapa I se ven histogramas con datos atípicos para las variables $[L/m^3, L/(m^3.km)]$, mientras los datos normales se muestran en los histogramas de los indicadores $[m^3/L, m^3/gal, (m^3.km) /L]$, así mismo, en la etapa II se observa el histograma del indicador $[L/(m^3.km)]$ muestra algún dato atípico, mientras los indicadores $[L/m^3, m^3/L, m^3/gal, (m^3.km) /L]$, muestran histogramas normales. Para los otros vehículos, (ver anexo 4).

Tabla 4-7 Histogramas en pruebas de normalidad



Fuente Propia

Como resultado de la prueba en los histogramas (ver anexo 4), se resumen en la **Tabla 4-8** Análisis de Comportamiento para Normalidad, la comparación de la dispersión de la muestra para cada indicador.

- Para el indicador (m^3/L) en las dos etapas se puede determinar que la gráfica presenta una tendencia simétrica, donde la curtosis es igual a cero y presenta comportamiento, mesocúrtica normal, para los vehículos 351, 360, 401 y 446.
- Para el indicador (m^3/gal) en las dos etapas se puede determinar que la gráfica presenta una tendencia simétrica, donde la curtosis es igual a cero, por lo tanto, es leptocúrtica normal para los vehículos 349 y 360 en los indicadores de consumo.

- Para los indicadores (L/m³), (L/m³.km) en las dos etapas se puede determinar que la gráfica presenta una tendencia asimétrica, donde la curtosis es mayor a cero, y presentan pocos valores atípicos, por lo tanto, es mesocúrtica positiva, para todos los vehículos en alguna de las dos etapas.
- Para el indicador (m³.km) /l, (m³/gal) en las dos etapas se puede determinar que la gráfica presenta una tendencia simétrica, donde la curtosis es igual a cero y se encontraron pocos valores atípicos grandes, pero con simetría, su comportamiento es mesocúrtica normal en los vehículos 351 y 401 y en alguna de las dos etapas para los demás vehículos para indicadores de rendimiento
- Para los indicadores (L/m³), (L/m³.km) en las dos etapas se puede determinar que la gráfica presenta una tendencia asimétrica, donde la curtosis es mayor a cero y presentan valores atípicos, por lo tanto, su comportamiento es mesocúrtica positiva para los vehículos 351 y 360.

Tabla 4-8 Análisis de Comportamiento para Normalidad

MIXER	ETAPA	m ³ /L	m ³ /gal	L/m ³	(m ³ *km) /L	L/(m ³ *km)
349	ETAPA I	LEPTOCURTICA ,NORMAL	LEPTOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA	LEPTOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA
	ETAPA II	MESOCURTICA, POSITIVA	MESOCURTICA, NORMAL	MESOCURTICA , NORMAL	LEPTOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA
351	ETAPA I	MESOCURTICA, NORMAL	LEPTOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA	MESOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,NORMAL
	ETAPA II	MESOCURTICA, NORMAL	LEPTOCURTICA ,NORMAL	PLATICURTICA POSITIVA	MESOCURTICA , POSITIVA	MESOCURTICA ,NORMAL
360	ETAPA I	LEPTOCURTICA ,NORMAL	LEPTOCURTICA ,NORMAL	PLATICURTICA POSITIVA	LEPTOCURTICA ,NORMAL	PLATICURTICA POSITIVA
	ETAPA II	MESOCURTICA, NORMAL	MESOCURTICA, NORMAL	MESOCURTICA , NEGATIVA	MESOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA
401	ETAPA I	MESOCURTICA, NORMAL	LEPTOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA	MESOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA
	ETAPA II	MESOCURTICA, NORMAL	MESOCURTICA, NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA	MESOCURTICA ,NORMAL	MESOCURTICA ,POSITIVA
446	ETAPA I	MESOCURTICA, POSITIVA	MESOCURTICA, POSITIVA	MESOCURTICA ,POSITIVA	MESOCURTICA , POSITIVA	MESOCURTICA ,POSITIVA
	ETAPA II	MESOCURTICA, NORMAL	MESOCURTICA, POSITIVA	MESOCURTICA , NORMAL	MESOCURTICA , POSITIVA	MESOCURTICA ,NORMAL

Fuente: Propia 2020.

4.7 Diferencia porcentual de rendimientos.

El análisis de diferencia porcentual de rendimiento se hace con los datos obtenidos de los indicadores de interés [m^3/L , $(m^3.km) /L$] para las etapas I y II, se halla con la siguiente ecuación.

$$\text{Diferencia porcentual de rendimiento} = \frac{\frac{m^3}{L} \text{ antes} - \frac{m^3}{L} \text{ despues}}{\frac{m^3}{L} \text{ antes}} = 100 \% \quad (3)$$

A continuación, en la **Tabla 4-9** se pueden ver los cálculos realizados para los vehículos del presente trabajo. La diferencia porcentual en el indicador de rendimiento [m^3/L] es de 0,3 % en los vehículos 349, 351 y 446; para el vehículo 401 se obtiene una diferencia porcentual del 0,2 %, mientras que para el vehículo 360 se obtuvo una diferencia porcentual de -0.23 %. Así mismo, en el indicador logístico [$(m^3.km) /L$] se evidencia al menos una reducción del 0.2 % al 0.4 % en los vehículos 349, 351, 401 y 446; excepto en el vehículo 360 donde se obtuvo una diferencia porcentual de -0.8 %, lo anterior indica que solo un vehículo no presentó una diferencia porcentual positiva en los indicadores mencionados.

Tabla 4-9 Diferencia porcentual de indicadores de rendimiento.

Vehículo	% [m^3/L]	% [$(m^3.km) /L$]
349	0,35	0,48
351	0,35	0,33
360	-0,23	-0,85
401	0,25	0,26
446	0,29	0,26

Fuente: Propia 2020.

Las diferencias porcentuales analizan las circunstancias particulares de los datos en los vehículos escogidos, esto no permite sacar conclusiones con respecto a cada uno de los vehículos analizados de manera general o a la flota en su totalidad. En consecuencia, para poder extender los análisis al grupo de vehículos o la flota se hace

necesario hacer pruebas de hipótesis frente a los indicadores establecidos para la flota. A continuación, se muestran las pruebas de hipótesis realizadas.

4.8 Pruebas de Hipótesis.

Para realizar la prueba de hipótesis se generó la diferencia de medias en las variables relacionadas con el consumo de combustible como

A continuación, se mostrará el análisis de prueba de hipótesis realizada sobre los indicadores [m^3/L , $(m^3.km) /L$], se seleccionan estos dos indicadores puesto, que los demás indicadores son múltiplos o recíprocos, además son los indicadores de interés para la empresa. El estadístico de prueba es el valor p que indica si el resultado es significativo a partir de la hipótesis nula o alternativa que se establece como:

H₀: $\mu_1 - \mu_2 = 0$; los valores promedios de los procesos son iguales, (el valor p es menor que α , se rechaza la hipótesis nula).

H_a: $\mu_1 > \mu_2 \neq 0$, los valores promedios de los procesos son diferentes (el valor p es mayor al nivel de significancia (α) de 0.05, razón por la cual se acepta la hipótesis alternativa).

Así mismo el resultado del valor de p es obtenido usando el software de apoyo para los indicadores establecidos en las etapas, se rechaza o se acepta la hipótesis, (ver anexo 3).

En la **Tabla 4-10** se representan los resultados de la prueba de hipótesis realizado en los indicadores de interés para vehículo 349. Se puede concluir que se rechaza la hipótesis nula porque hay diferencia de medias para el indicador ($m^3.km /L$), en el nivel de significancia de 0,05.

Se acepta la hipótesis nula porque no hay evidencia suficiente para concluir diferencia de medias para el indicador (m^3 / L), al nivel de significancia de 0,05

Algunos puntos de datos son inusuales en comparación con los demás de las mismas muestras, la prueba es precisa con datos atípicos, aunque los tamaños de muestras son mayores a 30, son lo suficientemente grandes para detectar una diferencia entre las medias.

Debido a que los datos inusuales pueden tener una gran influencia en los resultados, la prueba es precisa con datos atípicos cuando los tamaños de muestra son lo suficientemente grandes.

Tabla 4-10 Pruebas de hipótesis $\mu = \mu_0$ vehículo 349.

Mezcladora 349			
Ítem	Indicador	Grafica	Valor p. hipótesis
1	m³/L		P-Value = 0,608 Se acepta la hipótesis nula, Se rechaza la hipótesis alternativa
2	(m³. km) /L		P-Value = 0,000 Se rechaza la hipótesis nula, Se acepta la hipótesis alternativa

Fuente: Propia 2020

Como resultado del análisis de medias para la flota en la **Tabla 4-11** se observa que el indicador [m³/L] del vehículo 351 y con indicador [m³. km /L] del vehículo 349 se le rechaza la hipótesis nula, así mismo en el indicador m³/L para los vehículos (349, 360, 401 y 446) y con el indicador [m³. km /L] para los vehículos (351, 360, 401 y 446) Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa P-Value ≠ 0,000.

Al aceptar la hipótesis nula se puede observar que la capacitación no presentó un impacto positivo en la segunda etapa para el indicador [m³/ L], al rechazar la hipótesis nula se puede determinar que en la etapa I, los valores del indicador [m³. km /L] son superior al resultado obtenido en la etapa II, lo cual indica que la capacitación presentó una incidencia importante para el consumo de combustible.

Tabla 4-11 Análisis de medias para los 5 mezcladores

Análisis de Medias			
Mezcladora	Indicador	Se rechaza la hipótesis nula, Se acepta la hipótesis alternativa. p-Value = 0,000	Se acepta la hipótesis nula, Se rechaza la hipótesis alternativa p-Value \neq 0,000
349	m ³ / L		si
	(m ³ . km) /L	si	
351	m ³ / L	si	
	(m ³ .km) /L		si
360	m ³ / L		si
	(m ³ . km) /L		si
401	m ³ / L		si
	(m ³ . km) /L		si
446	m ³ / L		si
	(m ³ . km) /L		si

Fuente: Propia 2020

4.9 Analisis de Correlación.

Entre los datos recolectados se establecieron otras variables que se introdujeron en la correlación y se encuentran relacionadas con la operación como son: variables de conductor y variables de vehículos.

Variabes de conductor: Conductor (C1, C2, C3, C4 y C5), edad, experiencia, nivel educativo.

Variabes de vehículo: modelo, cilindraje, capacidad de carga, kilómetro recorrido, viajes

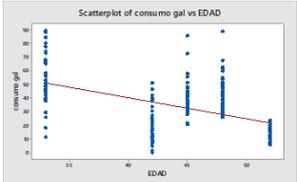
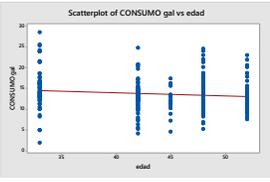
Las variables de conductores que no se relacionaron son: la experiencia, el nivel educativo, porque no hay diferencias significativas, mientras en las variables de vehículo se rechazaron las variables que son modelo, capacidad de carga, cilindraje, porque los

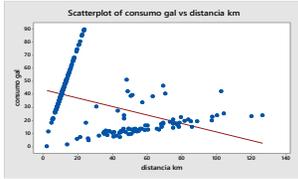
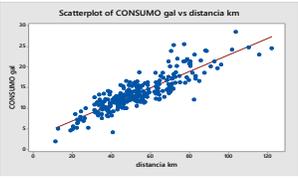
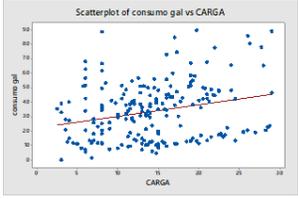
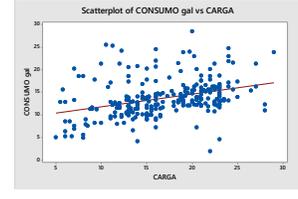
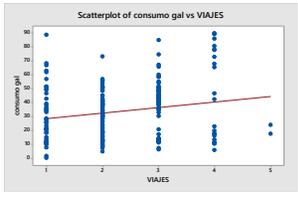
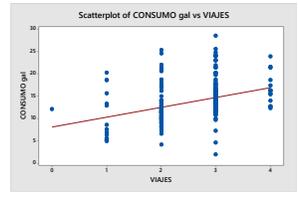
camiones son muy parecidos la modelo varia en 1 o 2 años, la capacidad de carga y el cilindraje son la misma en los camiones, lo cual no tiene alguna diferencia comparativa.

Se tomaron los datos de todos los vehículos, se hizo un procesamiento, para separar las variables, utilizando el software de apoyo por medio de la correlación de Pearson y se analiza la relación de las variables como: Edad del conductor, km recorrido en cada viaje, carga, y viajes realizados en el día, como variables independientes, Consumo de combustible en galones, como variable dependiente, con los siguientes resultados (ver **Tabla 4-12**).

Usando el software de software de apoyo, se realizó la observación de las variables en la siguiente manera: variable dependiente/ independiente por cada día en etapa I y etapa II se puede determinar que la edad con respecto al consumo no están muy relacionadas, para el km se torna débil en primera etapa y fuerte en la segunda etapa, para la carga se nota una simetría en la gráfica de etapa II no obstante la relación con el consumo es débil, esto se debe a la constante variación de la carga en los vehículos, sin embargo, se presenta debilidad en los viajes respecto al consumo, está relación se debe a que los vehículos puede hacer máximo 4 a 5 viajes en el día por trayectos muy cortos, por lo cual la carga y el recorrido presentan altas variaciones.

Tabla 4-12 Correlación de indicadores

CORRELACION PEARSON					
VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTES	ETAPA I	ETAPA II	RELACION	
				ETAPA I	ETAPA II
Consumo (gal)	Edad			-0,124 muy débil	-0,509 moderada

CORRELACION PEARSON					
VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLES INDEPENDIENTES	ETAPA I	ETAPA II	RELACION	
				ETAPA I	ETAPA II
Consumo (gal)	km recorrido			0,870 fuerte	-0,444 débil
Consumo (gal)	Carga m ³			0,347 débil	0,251 débil
Consumo (gal)	viajes			0,369 muy débil	0,189 muy débil

Fuente: Propia 2020

4.10 Análisis de Regresión Múltiple.

Usando software soporte se trataron los datos, se hizo la regresión para cada uno de las etapas en **Figura 4-2**, se puede encontrar la ecuación de regresión y el R² para etapa II, en la **Figura 4-3** se visualiza la ecuación de regresión y el R² para etapa I.

Figura 4-2 Análisis de regresión Etapa II

Consumo gal Vs Edad, Distancia km, Carga, Viajes

Regresión Ecuación Etapa II

$$\text{Consumo gal} = 72,57 - 1,0 \text{ EDAD} - 0,3 \text{ distancia km} + 1,0 \text{ CARGA} + 0,72 \text{ VIAJES.}$$

Model Summary

S	R-sq.	R-sq. (adj)	R-sq. (pred)
14,6996	45,12 %	44,06 %	42,25 %

Figura 4-3 Análisis de regresión Etapa I

Consumo: (gal) Vs Edad, distancia km, Carga, Viajes

Regresión Ecuación Etapa I

$$\text{CONSUMO (gal)} = 5,333 - 0,0976 \text{ edad} + 0,19 \text{ distancia km} + 0,04 \text{ CARGA} + 0,6 \text{ VIAJES}$$

Model Summary

S	R-sq.	R-sq. (adj)	R-sq. (pred)
1,90640	80,03 %	79,71 %	78,85 %

Análisis de regresión se puede determinar el valor de P es de (0,000) para las variables Edad, y Distancia en las dos etapas por lo cual sus valores son significativos, sin embargo, para Carga en Etapa I (0.228) y Viaje en las dos etapas (0.619 y 0.030), indica que no es estadísticamente significativo, entre tanto se puede determinar el R² o porcentaje de variación en la respuesta de etapa II es 44 % de los datos se ajustan a la regresión hallada, mientras que en etapa I la correlación es muy buena de 80.3 % (ver figuras 4-2, 4-3).

Identificadas las variables relacionadas para el consumo de combustible, estadísticamente se comprueba que en etapa I la variable que más se relaciona es viajes, para la etapa II las variables fueron carga y viajes, para los histogramas de puede observar que el pico y la dispersión en etapa I es de -30 a 45, su grafica presenta un ajuste adecuado, mientras en etapa II la dispersión es de -6 a 8 presenta un ajuste simétrico a la derecha .

Con la ecuación de regresión de etapa II presenta consumo baja frente a los conductores con más edad y más distancia recorrida, el consumo frente a la carga da alta, pero es un resultado lógico a más carga y más viaje más consumo y el R² indica que el ajuste del modelo para los datos es del 44 %. Con la ecuación de etapa I que hay menor consumo frente a los conductores de mayor edad y se presenta más consumo frente a la carga,

distancia y viaje, pero el R^2 indica que el ajuste del modelo frente a los datos es muy bueno con un 80 %. Al comparar las ecuaciones y el ajuste se puede ver que la experiencia de los conductores con más edad es un factor importante para el bajo consumo, mientras la carga, y los viajes se comportan de manera proporcional frente al consumo.

4.11 Variables respecto a las gráficas de correlación

4.11.1 Consumo Vs Edad.

Para la primera etapa se puede determinar que a más edad del conductor se aprecia menos consumo de combustible, en la segunda etapa el consumo de combustible mantuvo una leve variación constante y se aprecia la reducción de combustible después del curso.

4.11.2 Consumo vs km recorrido.

Para la etapa I se visualizan dos parámetros, el primero es de mayor consumo, menos distancia, y en el segundo mayor distancia, menor consumo, esto se debe a que los vehículos fueron a obras cercanas a la planta y durante el descargue permanecieron girando constantemente; sin embargo, estos datos son propios del estudio y no hubo exclusión de datos para este análisis. En etapa II se visualiza una gráfica constante donde a mayor distancia menor consumo, se muestra normalidad en la constante.

4.11.3 Consumo vs carga.

Para la etapa I, se encuentran datos con una distribución binomial y con alto consumo de 65 a 70 gal, a comparación de etapa II, donde los datos se comportan de manera normal y se aprecia la disminución de consumo después del curso con un consumo hasta de 30 gal por día.

4.11.4 Consumo vs viajes.

Para la etapa I, se encuentran vehículos que en un día hicieron 5 viajes lo cual arroja un máximo de 30 galones, mientras en etapa II, se hicieron un máximo de 4 viajes con un

consumo de 15 galones por día, cabe resaltar que en etapa I, se hicieron 791 viajes a comparación de etapa II, con 491. A modo de información detallada en encuentran operaciones o viajes de vehículos que consumieron combustible durante una semana y recorrieron 339 km sin carga, donde hubo consumo de combustible, lo cual no se tuvo presente en los análisis, solo los datos que tiene información coherente en las 3 variables son elegidos, ya que el mezclador se desplaza la obra y regresa a la planta sin carga, conjuntamente los mezcladores en muchas ocasiones demoran descargando la carga y durante este tiempo el vehículo está parqueado pero hay desgaste de máquina y consumo de combustible .

4.12 Análisis generales basados en resultados.

Los datos se obtuvieron de varias fuentes nombradas a continuación: *fuentes administrativas*, son datos obtenidos donde se encuentran las características de los camiones de interés, así como las características de los conductores; *fuentes de datos operativos* donde se encuentra la matriz con información de fecha, origen, destino carga, y la *fuentes de datos del sistema de telemetría*, donde se encuentra fecha, consumo, y distancia.

Se verifica toda la información obtenida de las tres fuentes, en especial la integridad de la información arrojada por el sistema de telemetría montado en cada uno de los vehículos. Con los demás datos recolectados en las tres fuentes para los cinco vehículos, se hizo un tratamiento de los mismos, clasificando las variables como: carga, consumo, distancia, día a día durante la operación. Se calcularon los indicadores de interés, se generó un análisis en estadística descriptiva donde se obtuvieron estadísticos como: varianzas, medias, el tamaño de la muestra, máximos y mínimos, para caracterizar los indicadores, obtenidos los tamaños de la muestra con un promedio de 254 datos en la etapa I y un promedio de 210 en la etapa II para todos los vehículos. Después se realizaron pruebas de normalidad para los datos e indicadores, determinando su comportamiento normal para la etapa I y etapa II.

Resultados específicos en la prueba de hipótesis para los indicadores de (m^3/L) y ($m^3.km$) /L. Se hace prueba de diferencia de medias para analizar los indicadores mencionados y

se encontró que para el indicador $[m^3/L]$ no había diferencia significativa en el valor de las medias, entre la etapa I y la etapa II para el vehículo 349 y para los demás vehículos si hubo diferencia significativa lo que indica que probablemente el consumo de combustible se vio influenciado positivamente por el curso de conducción eficiente. Para el indicador $[(m^3.km) /L]$, no hubo diferencias significativas de medias para el vehículo 351, lo que permite inferir que el curso no tuvo ninguna influencia, para los vehículos 360, 401 y 446 si se encontraron diferencias de medias entre etapa I y etapa II, lo cual indica que si obtuvo una influencia al impartir el curso.

A continuación, se realizó un análisis de correlación para determinar las diferentes variables de la flota, las cuales deben tener una relación importante con el consumo de combustible como son:

Variables del camión: donde las variables conocidas son: modelo, cilindraje, capacidad de carga, kilometraje recorrido total del camión y viajes. Como los camiones son muy similares o iguales en las variables de marca, modelo, cilindraje, kilometraje recorrido total del camión, capacidad de carga, entre camiones y las etapas no tiene razón de ser involucralas en un análisis de correlación. La única variable que se considera que puede ser valiosa para los posteriores análisis es la variable de viajes.

Las variables de conductores son: edad, años de experiencia y escolaridad. Los conductores de cada vehículo (C1, C2, C3, C4 y C5) presentan similitud en años de experiencia y escolaridad. La variable que si se considera para posteriores análisis es la variable de edad, en atención a que se presentan variaciones en la edad de los conductores.

Variables de la operación como son: distancia, carga, fecha y kilometraje. La variable que no se tuvo en cuenta fue la fecha por ser una variable que no se considera aporte al consumo de combustible.

A las variables mencionadas se les hizo análisis de correlación con el modelo de Pearson, y a continuación se resumen los hallazgos:

- La variable *viajes*, presenta una relación con el consumo de combustible muy débil, para la etapa I y etapa II.

- La variable de *carga*, presenta una relación con el consumo de combustible débil en etapa I y etapa II.
- La variable de *edad* presenta una relación con el consumo de combustible débil en la etapa I y una relación en etapa II moderada.
- La variable de *distancia* presenta una relación con el consumo de combustible fuerte en la etapa I, y una relación en etapa II débil.

Con las variables establecidas edad, distancia, carga y viajes se hace un análisis de regresión multivariada tomando el consumo de combustible como variable dependiente. Entre el análisis realizado se obtiene el valor del R² en la etapa I, el resultado de la de correlación 80.3, que significa que el 80.3 % de los datos con el cual se construyó la ecuación, siguen el modelo de regresión y en la etapa II el resultado de la correlación es 45.1 % que significa que el 45 % de los datos siguen el modelo de regresión.

A continuación, se muestran las ecuaciones resultantes para las variables mencionadas en etapa I y en etapa II.

Etapa II

$$\text{Consumo (gal)} = 72,57 - 1,0 \text{ Edad} - 0,3 \text{ Distancia km} + 1,0 \text{ Carga} + 0,72 \text{ VIAJES.}$$

S	R-sq.	R-sq. (adj)	R-sq. (pred)
14,6996	45,12 %	44,06 %	42,25 %

Etapa I

$$\text{Consumo (gal)} = 5,333 - 0,0976 \text{ edad} + 0,19 \text{ Distancia km} + 0,04 \text{ Carga} + 0,6 \text{ Viajes}$$

S	R-sq.	R-sq. (adj)	R-sq. (pred)
1,90640	80,03 %	79,71 %	78,85 %

Como resultado del análisis realizado en la regresión se detalla a continuación:

Coeficientes con signo positivos para etapa II.

- Para la *carga* el consumo de combustible aumenta con respecto a la esta variable.
- Para los *viajes*, el consumo de combustible aumenta con respecto a los viajes.

Coeficientes con signo negativos para etapa II.

- Para la *edad* indican que los conductores de más edad generan menos consumo de combustible.
- Para la *distancia*, indica que a menor distancia recorrida menor consumo de combustible.

Coeficientes con signo positivos para etapa I.

Para la *carga* el consumo de combustible aumenta con respecto a la esta variable.

- Para los *viajes*, el consumo de combustible aumenta con respecto a los viajes.
- Para la distancia, el consumo de combustible aumenta con respecto a la distancia recorrida.

Coeficientes con signo negativos para etapa I.

- Para la *edad* indican que los conductores de más edad generan menos consumo de combustible.

Durante este estudio se recopilaron, procesaron, y analizaron datos que hacen parte de la operación, sirvieron de base para establecer los indicadores de consumo de combustible. Usando la estadística descriptiva, se generan estadísticos, que abren paso a las pruebas de normalidad para comprobar su comportamiento normal, se establecen los indicadores (m³/ L) y (m³*km) para el consumo de combustible, como variables más relevantes para la empresa. Los resultados de las pruebas de hipótesis con respecto a la capacitación muestran que en tres de los cinco vehículos mostraron influencia en la capacitación, además aplicando la prueba de correlación se encuentra una fuerte relación entre la distancia y el consumo de combustible para la etapa I, Para la regresión se puede determinar que la capacitación tuvo un impacto favorable frente a los conductores mayores, en las variables de distancia y carga, entre mayor sea la variable menor es el consumo, lo cual indica el efecto positivo de la capacitación

5. Estrategias y recomendaciones para bajar el consumo en mezcladores.

5.1 Estrategias

Uno de los grandes retos a nivel mundial es bajar las emisiones de CO₂, siendo el transporte uno de los sectores que más contamina [4] con el afán de cambiar esta problemática las organizaciones de transporte terrestre están acogiendo medidas muy económicas que fortalezcan la conciencia de los conductores en la vía, adoptando hábitos saludables en la forma de conducir y mejorando el rendimiento y la eficiencia energética en los vehículos mezcladores.

De acuerdo a los resultados de análisis anteriores, se relacionan las estrategias que están relacionadas con los resultados de las pruebas realizadas.

Conducción eficiente: los análisis de las pruebas de hipótesis muestran que es factible establecer que el ecodriving tienen un impacto positivo para obtener reducción en el consumo de combustible por eso se deberían de establecer los cursos de ecodriving.

Resultados estadísticos: con los resultados obtenidos se puede corroborar que:

Distancia: a mayores distancias recorridas por los vehículos menor es el consumo de combustible

Carga: Los resultados arrojan que entre más carga lleve el vehículo hay menor consumo de combustible, por que aprovecha la potencia del vehículo

Conductores: El resultado obtenido indica que los conductores entre más edad mejor experiencia y se demuestra menor consumo de combustible.

Perfeccionar la logística: aprovechar al máximo la capacidad de carga del vehículo es aprovechar la potencia generada por el motor los mezcladores poseen generalmente una capacidad de carga de 8m³, su traslado de plata a obra es con carga, pero el regreso de

obra a planta es en vacío, esto genera derroche de potencia y consumo de combustible extra, lo cual debe ser aprovechada al máximo utilizando su máxima capacidad de carga.

Reducir la velocidad en carretera: en los mezcladores la carga está en constante movimiento, las altas velocidades generan resistencia aerodinámica, sumada con la fuerza de rotación del mezclador (trompo), permite el desequilibrio del vehículo perdiendo el control y ocasionando volcamiento, pero de acuerdo a la agencia chileno en otros vehículos de carga se logra obtener una reducción del consumo en un 16 %.

Capacitación de conductores: El conductor como actor principal, debe conseguir la mayor utilidad energética del vehículo con ello logrará una disminución de 9 %, por lo cual debe de optar una conducta consiente que beneficie a la máquina y obtenga un resultado de confort para él, es necesario el entrenamiento, motivación, que involucra al conductor a tener más cuidado con los vehículos, dónde aflora su sentido de pertenencia como portada principal frente a la orientación y servicio al cliente.

Reducción de ralentí: Para estos vehículos el funcionamiento del motor en ralentí es necesario cuando está cargado, paradas prolongadas por más de 3 horas en algunos casos son un factor principal para el alto consumo de combustible con una disminución de 4 % frente otros vehículos carga en carretera [8].

Mejoras aerodinámicas: La barrera generada por al aire cuando el vehiculó está en movimiento, incrementa la velocidad, [25] las mejoras aerodinámicas disminuyen este impacto, como ayuda a bajar el consumo de combustible en un 11 % de acuerdo con la agencia chilena.

Mantener los neumáticos en presión adecuada de aire: La presión baja de los neumáticos aumenta la resistencia de fricción en la rodadura, es recomendable verificar el estado de la llanta por parte del conductor cuando salga de las obras, ya que el terreno tiene escombros y se encuentran puntillas o materiales de construcción que se insertan fácilmente perdiendo la presión de los neumáticos, esta estrategia ayuda a reducir el consumo en al menos un 2 %.

Reporte de vía: informar a la planta de despacho cualquier anomalía encontrada en la vía, que ocasione retraso para el desplazamiento de los vehículos y afecte la disponibilidad de

flota, además el consumo de combustible en trancones.

Establecer tiempos de descargas en obra: Minimizar el tiempo de descarga o apagar el vehículo por lapsos de tiempo mientras se espera en la obra reducen el consumo de combustible y evita el desgaste de la máquina, largas temporadas en la descarga del concreto, eleva el alto consumo de combustible y afecta la disponibilidad de los vehículos.

El uso de freno de motor: Los motores Mp8 tienen la particularidad de disminuir la potencia torque comprimiendo el pistón, generando que las válvulas de escapen abran, sin recibir combustible durante su activación logrando así una reducción de combustible en un 5 % [26].

5.2 Recomendaciones.

Para el adecuado descargue en obra, ya que se demostró el alto consumo de combustible que presenta este escenario, se puede disminuir las revoluciones del mezclado del concreto de acuerdo al grado de resistencia.

Se encontraron datos anómalos que merecen ser analizados y mirados con más detenimiento desde el punto de vista de la operación entre tanto algún caso en los cuales se detectó que No registraron la cantidad de carga que llevaban, pero se evidencia consumo y km recorridos

Utilizar la capacidad de carga del vehículo especialmente en trayectos largos para aprovechar la eficiencia del vehículo y así la carga no sea una influencia sobre el consumo.

Se recomienda tener en cuenta la contratación de conductores mayores de 33 años, con buena experiencia.

Se recomienda adquirir por parte de la empresa al menos un vehículo de menor volumen de carga para suplir las necesidades de las obras con cargas inferiores a 4 m³, con el fin de ahorrar combustible en vehículos de mayor capacidad de carga.

6. Conclusiones.

A continuación, se establecen las conclusiones del presente trabajo:

El presente proyecto se ejecutó para una flota de cinco (5) vehículos mezcladores de cemento identificados con los números 349, 351, 360, 401 y 446, que hacen parte de una flota total de cuatrocientos (400) mezcladores de la empresa. Se realizaron mediciones en los aspectos operativos, administrativos y de telemetría, previo a un curso de conducción eficiente. Luego se realizó la capacitación de conducción eficiente a los conductores, impartiendo todos los temas relevantes y descritos en este trabajo. Posteriormente se realizó una toma de datos en los mismos aspectos a los mismos vehículos establecidos anteriormente. El presente trabajo se realizaron los análisis de datos para estudiar el consumo de combustible de esta flota de vehículos.

Se realizó una búsqueda de estrategias para la reducción del consumo de combustible en flotas de vehículos y se encontró que el *ecodriving* o conducción eficiente presenta una reducción entre el 1 y el 15 %, frente a otras estrategias como: reducción peso del 1 %, mejoras aerodinámicas del 11 %, reducir la velocidad en un régimen óptimo del 16 %, mantener la presión de los neumáticos del 2 %, entre otras. Por otro lado, dentro del *ecodriving* o conducción eficiente, de acuerdo a la literatura, se establecieron los potenciales de reducción de consumo cuando se realizan acciones específicas como: la reducción de ralentí del 4 %, curva de par a plena carga entre el 1 y 5 %, controlar los impulsos del 1 al 5 %, conservar la distancia entre el 1 al 5 %. Estas acciones fueron las que se tuvieron en cuenta para impartir a los conductores en la capacitación en conducción eficiente, esperando que en la práctica se logrará obtener esas reducciones.

Se verificó y comprobó la consistencia y veracidad de los datos provenientes de todas las fuentes, en especial del sistema de telemetría montado en cada uno de los cinco vehículos escogidos. Esta comprobación demuestra que para cada uno de los cinco (5) vehículos, el 349, 351, 360, 401 y 446, los datos de las fuentes administrativa, operativa y telemetría, son consistentes y veraces con la operación de la flota.

Se revisó, organizó y recolectó toda la información obtenida de las tres fuentes de datos, los operacionales, los administrativos y los de telemetría. Se pasó al procesamiento de los datos con el fin de concretar los datos relevantes para el estudio. Posterior a eso se seleccionaron las variables de interés para determinar y analizar el consumo de combustible de los cinco (5) vehículos escogidos.

De treinta (30) posibles variables que influyen en el consumo de combustible se determinaron cinco (5) variables, las cuales se consideraron relevantes para estudiar el consumo de combustible en la flota del presente trabajo. Estas variables fueron carga [m^3], distancia recorrida en [km], cantidad de viajes, edad de conductor, y consumo de combustible en [L] como variable dependiente. Y teniendo en cuenta el análisis de estas variables frente a la operación de la flota, además de que el tipo de flota es de mezcladores de cemento, se encontró que para propósitos de análisis de consumo o rendimiento de combustible los indicadores clave son [m^3/L] y [$(m^3 \cdot km) /L$]. Lo anterior dado que el consumo o rendimiento de combustible en este tipo de flotas no se puede analizar únicamente con los indicadores [km/L] y [$(km \cdot m^3) /L$].

Se hizo prueba de normalidad en las variables nombradas anteriormente y estadística descriptiva para auditar el comportamiento de los datos. Posterior a eso, se calcularon los indicadores relacionados con el consumo de combustible, tanto para antes como después de la realización del curso en conducción eficiente a los conductores. El primer análisis que se hizo fue la diferencia porcentual en el indicador de rendimiento [m^3/L], que fue del 0,3 % para los vehículos 349, 351 y 446; mientras el vehículo 401 tiene una diferencia porcentual del 0,2 %, y en el vehículo 360 se obtuvo una diferencia porcentual de -0.23 %. de igual manera, para el indicador logístico [$(m^3 \cdot km) /L$] se evidencia al menos una reducción del 0.2 % al 0.4 % para los vehículos 349, 351, 401 y 446; pero en el vehículo 360 donde se obtuvo una diferencia porcentual de -0.8 %, lo cual indica que solo el vehículo 360 no presenta una diferencia porcentual positiva para los indicadores calculados, se extienden los análisis con una prueba de hipótesis frente a los indicadores establecidos.

Para la flota de los (5) vehículos, se hizo prueba de hipótesis para la diferencia de medias, de los indicadores [m^3/L] y [$(m^3 \cdot km) /L$], comparando estos indicadores entre la etapa I y la etapa II, teniendo en cuenta que el curso de conducción eficiente se dio en medio de las

dos etapas. Para la hipótesis nula se estableció que no había diferencia en las medias, la hipótesis alternativa establecía que si había diferencias de medias. Como resultado de la prueba, se obtuvo lo siguiente: para el indicador de rendimiento $[m^3/L]$ se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa en el vehículo 351 y en el indicador de rendimiento logístico $[(m^3.km) /L]$ se rechazó la hipótesis nula aceptando la hipótesis alternativa para el vehículo 349. Así mismo se aceptó la hipótesis nula para los indicadores $[m^3/L]$ y $[(m^3.km) /L]$ y los vehículos 360, 401 y 446. De la misma forma para el indicador $[m^3/L]$ en el vehículo 349 y en el indicador $[(m^3.km) /L]$ para el vehículo 351 se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa. En conclusión, para el indicador de rendimiento $[m^3/L]$ se deduce que el curso no tuvo incidencia para la mayoría de los vehículos. Por otro lado, con el indicador $[(m^3.km) /L]$ se encontró el mismo comportamiento, es decir, que el curso no tuvo incidencia para modificar este indicador.

Se realizó un análisis de correlación entre las variables escogidas en este proyecto y se identificaron las que tenían mayor relación con el consumo de combustible. Las que presentaron correlación directa fueron carga, viajes, y kilómetros recorridos, en las dos etapas y la variable que presentó correlación inversa fue la edad de conductor igualmente en las dos etapas.

Se realizó un análisis de regresión multivariada, el cual tomó las variables a las cuales se les hizo el análisis de correlación, dado que, como se especificó anteriormente, se consideró que influían en el consumo de combustible. Estas variables fueron edad, carga, viajes, distancia. Y esta regresión se hizo tanto en la etapa I y tanto para la etapa II. Para la etapa I todos los coeficientes dieron positivos excepto la edad, que dio negativo. Los coeficientes positivos, para este caso significan que contribuyen al aumento del consumo combustible. Mientras que los coeficientes negativos significan que contribuyen a la disminución del consumo de combustible. Por otro lado, en la etapa II, los coeficientes que dieron positivo fueron la carga y viajes realizados, así mismo para los coeficientes que dieron negativos fueron edad y distancia. Dado lo anterior, se puede establecer que las variables que contribuyen al aumento del consumo de combustible son carga y viajes. Por otro lado, la variable que en ambas etapas ayuda a disminuir el consumo de combustible es la edad, Y finalmente la distancia es una variable en etapa I resultó que contribuía a disminuir el consumo de combustible y en etapa II resultó que no contribuía a disminuir el

consumo de combustible. El análisis de regresión reportó un coeficiente de correlación (R^2) en porcentaje del 80 % para la etapa I y del 44 % para la etapa II. Para este tipo de proyectos una correlación superior al 40 % se considera que es buena, es decir que el modelo de regresión interpreta de manera mínima y suficiente el comportamiento de la variable consumo de combustible. Con estos resultados se pueden establecer estrategias y recomendaciones para flotas, teniendo en cuenta los valores de estos resultados.

Con base a la literatura y a las estrategias propuestas durante el presente estudio se determina que la estrategia de gran importancia es la *capacitación de los conductores*, porque siendo el principal actor de la vía puede implementar parte de las estrategias propuestas. Como segunda estrategia más importante, está relacionada con la flota de vehículos mezcladores, es optimizar *la logística*, durante la operación de la flota. Esta estrategia incluye por ejemplo el envío de camiones con carga total, los reportes en vía, acordar tiempos de descarga con el cliente, optimización de ruteo.

Con base a los resultados de este estudio se puede determinar que la recomendación más relevante es aplicar la matemática y la estadística a la información obtenida de las fuentes administrativa, operativa y en especial la información de telemetría para encontrar falencias y errores en la operación o en el mantenimiento de los vehículos como base importante para tomar decisiones a tiempo en la flota. Así mismo hacer un análisis detallado con los datos anómalos o incompletos que no se registran en la operación.

Bibliografía.

- [1] IDE, «Manual de Conducción Eficiente», p. 39, 2006.
- [2] «Plan de Acción 2005-2007: Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4) | IDAE». <https://www.idae.es/publicaciones/plan-de-accion-2005-2007-estrategia-de-ahorro-y-eficiencia-energetica-en-espana-2004-2012-e4> (accedido ago. 24, 2020).
- [3] J. D. Nicolas Giraldo, «Conducción eficiente -Organización Corona». 2015.
- [4] Upme, «Plan Energético Nacional 2020-2050». 2019.
- [5] EIA, «International Energy Outlook 2016», p. 290, 2016.
- [6] enersinc, «Energy Demand Situation in Colombia». 2017.
- [7] Upme, «Proyección de Demanda de Combustibles en el Sector Transporte en Colombia». 2014.
- [8] Agencia Chilena de Eficiencia Energética (AChEE), «Capacitación Conducción Eficiente Aspectos teóricos y prácticos». 2014.
- [9] V. Corcoba M, «Eco-driving: ahorro de energía basado en el comportamiento del conductor», p. 206.
- [10] M. Cobos Martín, Método para la gestión eficiente del combustible en flotas de vehículos con rutas fijas. Aplicación a una empresa de construcción. Sevilla España.
- [11] L. A. S. Gallón, «Eficiencia energética en la administración de flotas vehiculares. Caso buses del Metro de Medellín», p. 141, 2016.
- [12] Mercedes Yolanda Rafael Morales y Andrés Hernández Guzmán, «MANUAL DE CONDUCCIÓN TÉCNICA DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES DIESEL: SEGUNDA EDICIÓN», Publicación Técnica No 360 Sanfandila, Qro. 2012.
- [13] División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL, «Eficiencia energética en el transporte de carga por carretera CEPAL». 2010.
- [14] TRESTISE, «Manual Conducción Eficiente». IDAE, oct. 2005.
- [15] CEPAL, «El cambio climático y el sector de energía en América Latina», 2017.
- [16] M. Urbiola-Pereyra, «Aprender, Desaprender y Reaprender», p. 3.
- [17] D. Florez y V. Rangel, «Logyca, conducción Eficiente, Organización corona, 2015», p. 80.
- [18] M. Barth et al., «Next Generation Environmentally-Friendly Driving Feedback Systems Research and Development», 1202197, dic. 2014. doi: 10.2172/1202197.
- [19] C. Ortega y A. Danilo, «Diseño, construcción e implementación de un sistema de telemetría utilizando tecnología GSM; para el monitoreo de los parámetros de temperatura, presión de aceite, velocidad de giro del motor y velocidad de desplazamiento de un vehículo Chevrolet Optra 2008», p. 218.
- [20] MACK, «MACK GU813 MIXER», Colombia.
- [21] mack, «Maxitorques Transmission T310», 2003, p. 205.
- [22] D. A. Lind, W. G. Marchal, S. A. Wathen, y R. D. Mason, Estadística aplicada a los negocios y a la economía. México: McGraw-Hill, 2012.
- [23] J. Jiménez, «METODOS ESTADISTICOS», p. 18.
- [24] «Ministerio de transporte». continuidad-mintrans.nexura.com/ (accedido sep. 22, 2020).

[25] AChEE, «Introducción a la Eficiencia Energética en el Transporte de Carga». Agencia Chilena Eficiencia Energética.

[26] «(PDF) Modelo para la Conducción Eficiente y Sostenible basado en Lógica Borrosa». https://www.researchgate.net/publication/257684557_Modelo_para_la_Conduccion_Eficiente_y_Sostenible_basado_en_Logica_Borrosa (accedido ago. 23, 2020).

Anexos

A. Anexo 1 Tabla de Estadística descriptiva

ANÁLISIS DESCRIPTIVO											
MIXER	DESCRIPCION	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II	ETAPA I	ETAPA II
		Rendimiento				consumo		logístico			
		m³/L	m³/L	m³/gal	m³/gal	L/m³	L/m³	(m³*k m)/L	(m³*k m)/L	L/(m³ *km)	L/(m³ *km)
349	Media 349	0,355	0,418	1,345	1,583	3,260	5,771	17,952	13,853	0,065	0,118
	Mediana 349	0,356	0,233	1,349	0,884	2,805	4,290	18,130	15,221	0,055	0,066
	Desviación estándar 349	0,129	0,929	0,490	3,516	1,613	4,707	6,209	8,143	0,032	0,110
	Varianza de la muestra	0,017	0,863	0,240	12,359	2,603	22,154	38,551	66,308	0,001	0,012
	Mínimo	0,092	0,039	0,346	0,146	1,107	0,167	5,655	1,668	0,027	0,025
	Máximo	0,903	6,000	3,419	22,712	10,929	25,875	36,697	40,628	0,177	0,600
	N Muestra 349	59	40	59	40	59	40	59	39	59	39
	Nivel de confianza(95,0%)	0,034	0,297	0,128	1,124	0,420	1,505	1,618	2,640	0,008	0,036
351	Media 351	0,360	0,283	1,363	1,070	3,019	4,413	19,842	16,141	0,057	0,084
	Mediana 351	0,350	0,312	1,325	1,182	2,857	3,204	19,196	15,109	0,052	0,066
	Desviación estándar 351	0,101	0,111	0,381	0,420	0,982	2,705	6,754	7,865	0,024	0,053
	Varianza de la muestra	0,010	0,012	0,145	0,176	0,963	7,316	45,611	61,863	0,001	0,003
	Mínimo	0,138	0,070	0,523	0,266	1,482	1,649	6,752	4,573	0,026	0,031
	Máximo	0,675	0,606	2,554	2,295	7,243	14,250	37,816	32,130	0,148	0,219
	N Muestra 351	58	48	58	48	58	48	58	48	58	48
	Nivel de confianza(95,0%)	0,026	0,032	0,100	0,122	0,258	0,785	1,776	2,284	0,006	0,015
360	Media 360	0,343	0,301	1,299	1,138	3,891	4,146	15,512	18,708	0,079	0,068
	Mediana 360	0,308	0,301	1,166	1,139	3,248	3,327	15,859	18,715	0,063	0,053
	Desviación estándar 360	0,392	0,117	1,485	0,444	1,884	2,450	5,954	8,056	0,047	0,040
	Varianza de la muestra	0,154	0,014	2,204	0,197	3,548	6,002	35,447	64,896	0,002	0,002
	Mínimo	0,107	0,088	0,406	0,334	0,318	2,000	3,350	4,293	0,028	0,026
	Máximo	3,143	0,500	11,897	1,893	9,333	11,333	35,553	38,116	0,299	0,233
	N Muestra 360	56	42	56	42	56,000	42	56	42	56	42
	Nivel de confianza(95,0%)	0,105	0,037	0,398	0,138	0,504	0,763	1,594	2,510	0,013	0,013
401	Media 401	0,264	0,303	1,193	1,148	3,447	4,285	16,328	15,528	0,068	0,086
	Mediana 401	0,264	0,315	1,237	1,191	3,061	3,179	15,967	16,325	0,063	0,061
	Desviación estándar 401	0,000	0,121	0,311	0,457	1,175	2,964	4,963	6,341	0,026	0,066
	Varianza de la muestra	0,000	0,015	0,096	0,209	1,381	8,787	24,632	40,214	0,001	0,004
	Mínimo	0,264	0,070	0,433	0,267	1,815	1,714	6,912	3,124	0,034	0,036
	Máximo	0,264	0,583	2,086	2,208	8,750	14,200	29,010	27,990	0,145	0,320
	N Muestra 401	57	43	57	43	57	43	57	43	57	43
	Nivel de confianza(95,0%)	0,000	0,037	0,082	0,141	0,312	0,912	1,317	1,952	0,007	0,020
446	Media 446	0,427	0,291	1,617	1,348	2,872	3,216	17,708	17,028	0,063	0,069
	Mediana 446	0,383	0,293	1,449	1,377	2,613	2,750	16,913	17,070	0,059	0,059
	Desviación estándar 446	0,225	0,117	0,852	0,400	1,724	1,553	5,103	5,619	0,027	0,035
	Varianza de la muestra	0,051	0,014	0,726	0,160	2,971	2,411	26,046	31,574	0,001	0,001
	Mínimo	0,097	0,076	0,369	0,441	0,739	1,778	5,711	5,293	0,039	0,036
	Máximo	1,353	0,645	5,121	2,129	10,261	8,583	25,923	27,727	0,175	0,189
	N Muestra 446	24	37	24	37	24	37	24	38	24	37
	Nivel de confianza(95,0%)	0,095	0,039	0,360	0,133	0,728	0,518	2,155	1,847	0,011	0,012

B. Pruebas de hipótesis $\mu=\mu_0$ vehiculo349

Mezcladora 351			
Ítem	Indicador	Grafica	Valor p, hipótesis
1	[m ³ / L]		P-Value = 0,000 Se rechaza la hipótesis nula, Se acepta la hipótesis alternativa
2	[(m ³ * km) /L]		P-Value = 0,012 Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa

Mezcladora 360			
Ítem	Indicador	Grafica	Valor p, hipótesis
1	[m ³ / L]		P-Value = = 0,447 Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa
2	[(m ³ * km) /L]		P-Value = 0,034 Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa

Mezcladora 401			
Ítem	Indicador	Grafica	Valor p, hipótesis
1	$[m^3 / L]$		P-Value = 0,657 Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa
4	$[(m^3 * km) / L]$		P-Value = 0,623 Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa

Mezcladora 446			
Ítem	Indicador	Grafica	Valor p, hipótesis
1	$[m^3 / L]$		P-Value = 0,25 Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa
4	$[(m^3 * km) / L]$		P-Value = 0,922 Se acepta la hipótesis nula, Se Rechaza la hipótesis alternativa

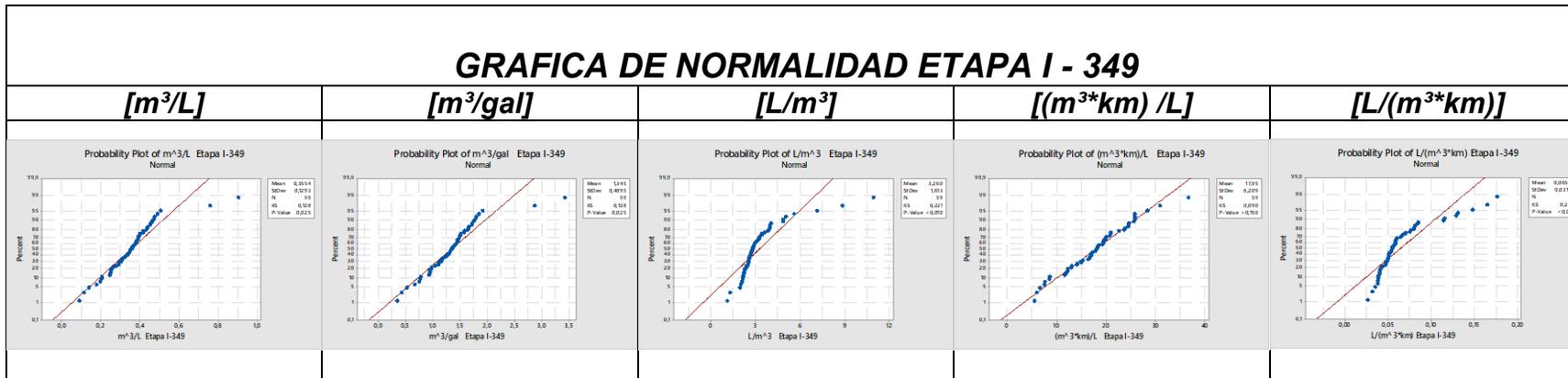
A. Anexo 2 Datos tomados con indicadores.

Datos organizados Etapa I.																						
MOVIL	FECHA	Hora de Inicial	Hora de final	Combustible (L)	Conductor	combustible (gal)	Edad	distancia km	Carga	Viajes	km/L	km/gal	m³/L	m³/km	m³/gal	L/km	gal/km	L/m³	(m³km)/gal	(m³k m)/L	gal/(k m³m³)	L/(m³ km)
349	17/09/2019	7:20:03 a. m.	1:09:45 p. m.	0,5	1	0,13	42	2,0	3	1	4,000	15,142	6,000	1,500	22,712	0,250	0,066	0,167	45,425	12,000	0,022	0,083
351	16/08/2019	9:25:31 a. m.	4:37:42 p. m.	41,5	2	10,96	52	35,1	15	2	1,181	3,205	0,361	0,427	1,368	1,181	0,312	2,767	48,075	12,700	0,021	0,079
351	22/08/2019	9:03:32 a. m.	8:06:10 p. m.	61	2	16,11	52	59,1	23	2	1,032	3,667	0,377	0,389	1,427	1,032	0,273	2,652	84,332	22,278	0,012	0,045
351	17/09/2019	8:12:00 a. m.	7:09:52 p. m.	57	2	15,06	52	85,8	4	2	0,664	5,699	0,070	0,047	0,266	0,664	0,175	14,250	22,797	6,022	0,044	0,166
351	28/09/2019	6:40:57 a. m.	11:32:34 p. m.	71	2	18,76	52	73,1	11,5	2	0,971	3,897	0,162	0,157	0,613	0,971	0,257	6,174	44,812	11,838	0,022	0,084
360	29/08/2019	8:52:49 a. m.	0,684930324	59,1	3	43,00	33	11,4	16	3	0,728	0,192	0,372	0,271	1,409	0,728	0,192	0,132	83,227	21,986	0,012	0,045
360	30/08/2019	8:19:48 a. m.	0,657543171	67,8	3	39,00	33	10,3	15,5	3	0,575	0,152	0,397	0,229	1,504	0,575	0,152	0,100	102,006	26,947	0,010	0,037
360	6/09/2019	7:00:47 a. m.	0,852284873	79,1	3	68,00	33	18,0	6	1	0,860	0,227	0,088	0,076	0,334	0,860	0,227	0,194	26,418	6,979	0,038	0,143
360	7/09/2019	6:13:37 a. m.	0,604296678	58,6	3	48,00	33	12,7	15	2	0,819	0,216	0,313	0,256	1,183	0,819	0,216	0,131	69,331	18,315	0,014	0,055
401	16/08/2019	10:43:25 a. m.	4:32:56 p. m.	38,7	4	32,00	48	8,5	13,5	2	0,826	4,583	0,422	0,348	1,597	0,826	0,218	2,370	61,866	16,343	0,016	0,061
401	22/08/2019	11:34:26 a. m.	5:33:10 p. m.	54,8	4	41,00	48	10,8	9,25	2	0,748	5,060	0,226	0,169	0,854	0,748	0,198	4,432	46,807	12,365	0,021	0,081
401	24/08/2019	7:20:03 a. m.	1:09:45 p. m.	44,35	4	32,50	48	8,6	14	3	0,733	5,166	0,431	0,316	1,631	0,733	0,194	2,321	72,319	19,105	0,014	0,052
401	3/09/2019	8:19:11 a. m.	3:37:58 p. m.	40,69	4	36,00	48	9,5	8	1	0,885	4,278	0,222	0,197	0,841	0,885	0,234	4,500	34,227	9,042	0,029	0,111
401	7/10/2019	5:54:39 a. m.	9:27:45 p. m.	69,7	4	67,50	48	17,8	21	4	0,969	3,906	0,311	0,301	1,178	0,969	0,256	3,214	82,031	21,670	0,012	0,046
446	16/08/2019	7:16:03 a. m.	7:30:24 p. m.	52,0	5	43,50	45	11,5	16,75	3	0,836	4,527	0,385	0,322	1,458	0,836	0,221	2,597	75,824	20,031	0,013	0,050
446	22/08/2019	12:15:36 p. m.	5:06:25 p. m.	38,5	5	30,50	45	8,1	12,75	2	0,792	4,778	0,418	0,331	1,582	0,792	0,209	2,392	60,923	16,094	0,016	0,062
446	26/09/2019	7:21:47 a. m.	3:39:37 p. m.	67,9	5	51,50	45	13,6	6,00	1	0,759	4,988	0,117	0,088	0,441	0,759	0,200	8,583	29,929	7,906	0,033	0,126
446	27/09/2019	9:18:47 a. m.	3:43:21 p. m.	41,8	5	38,00	45	10,0	8,00	1	0,910	4,161	0,211	0,192	0,797	0,910	0,240	4,750	33,290	8,794	0,030	0,114
446	1/10/2019	10:05:51 a. m.	3:49:43 p. m.	44,5	5	30,50	45	8,1	13,50	2	0,685	5,526	0,443	0,303	1,676	0,685	0,181	2,259	74,596	19,706	0,013	0,051

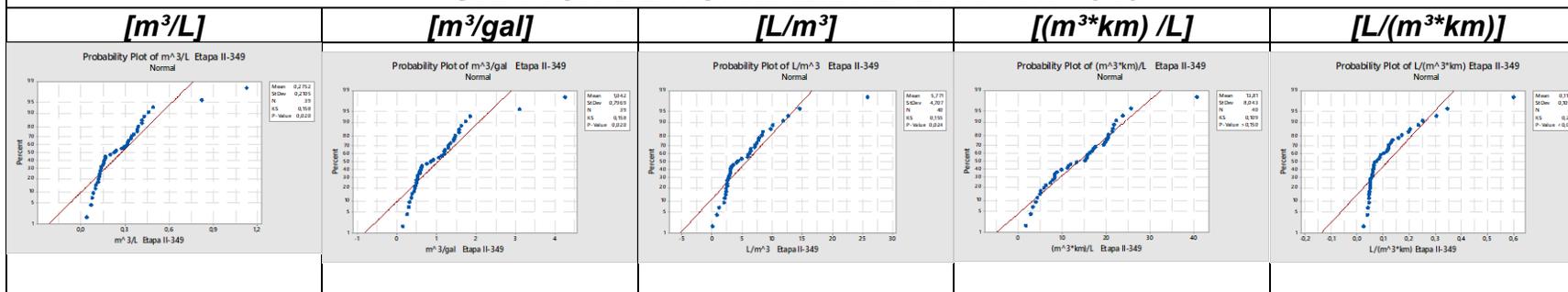
B. Anexo 3 Prueba de normalidad.

Mezcladora 349

GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA I - 349

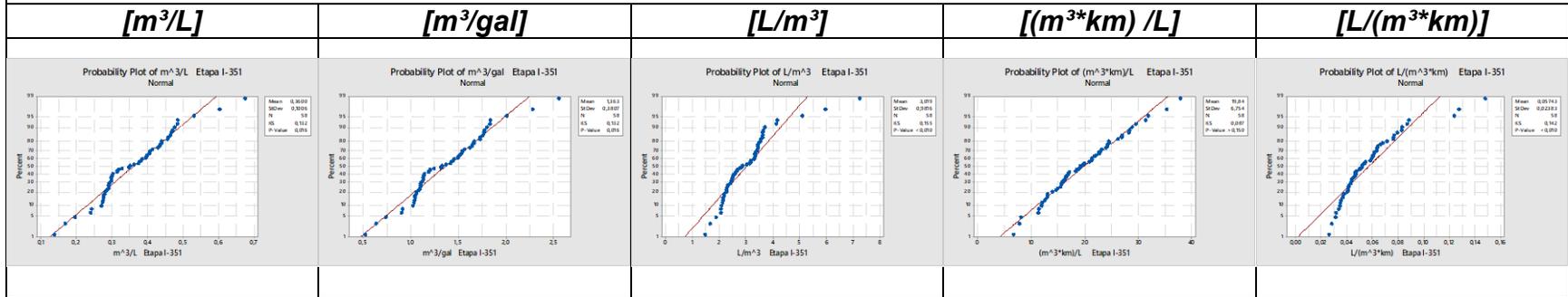


GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA II - 349

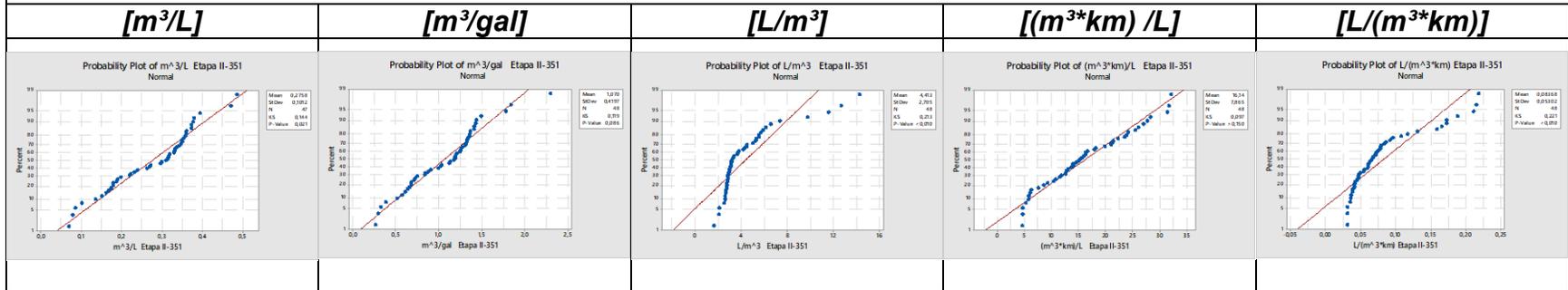


Mezcladora 351

GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA I - 351

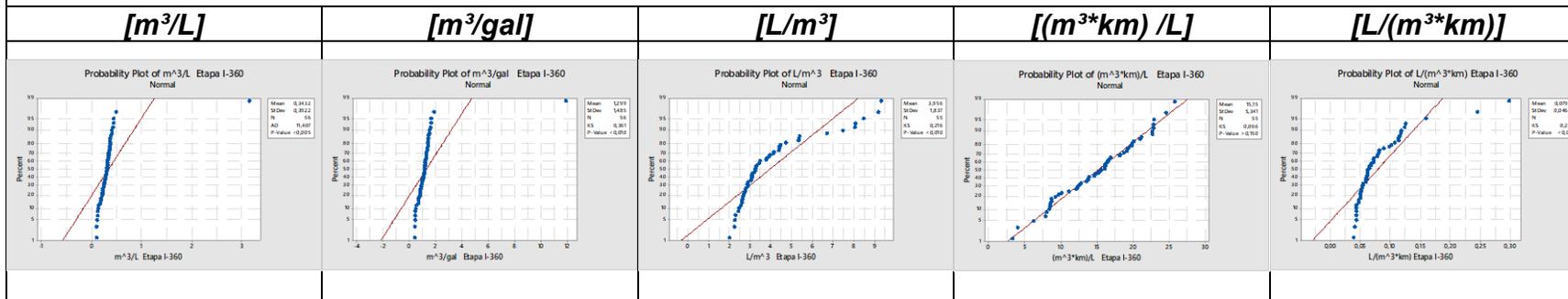


GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA II - 351

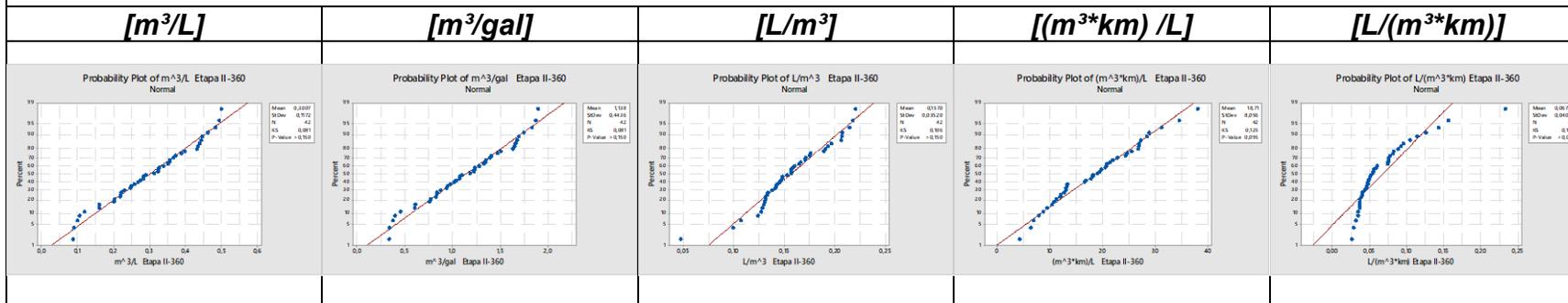


Mezcladora 360

GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA I - 360

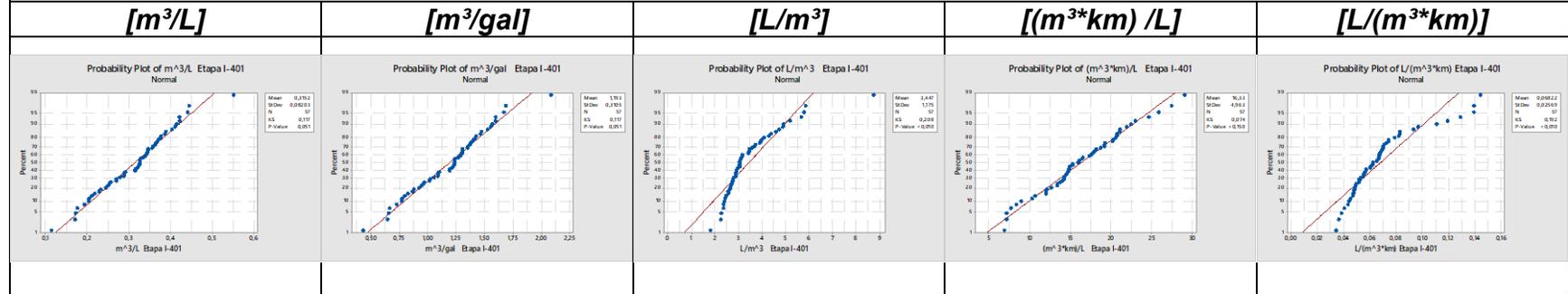


GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA II - 360

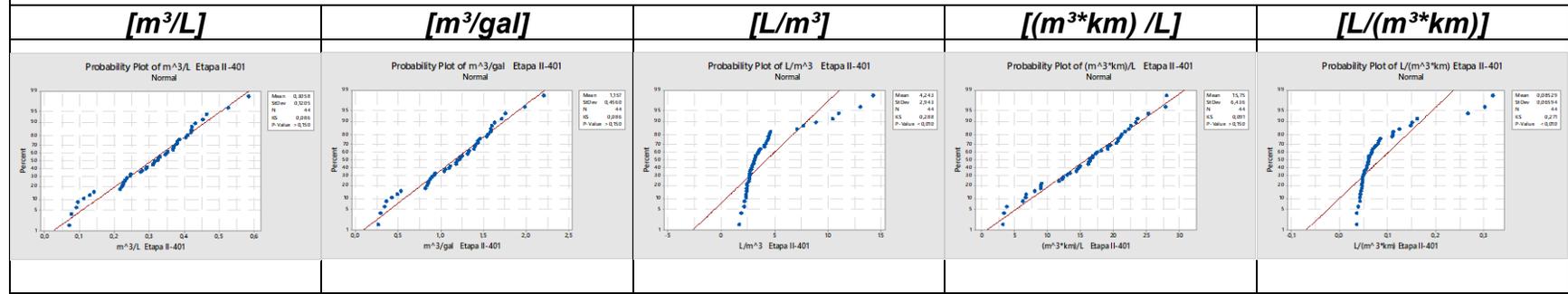


Mezcladora 401

GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA I - 401

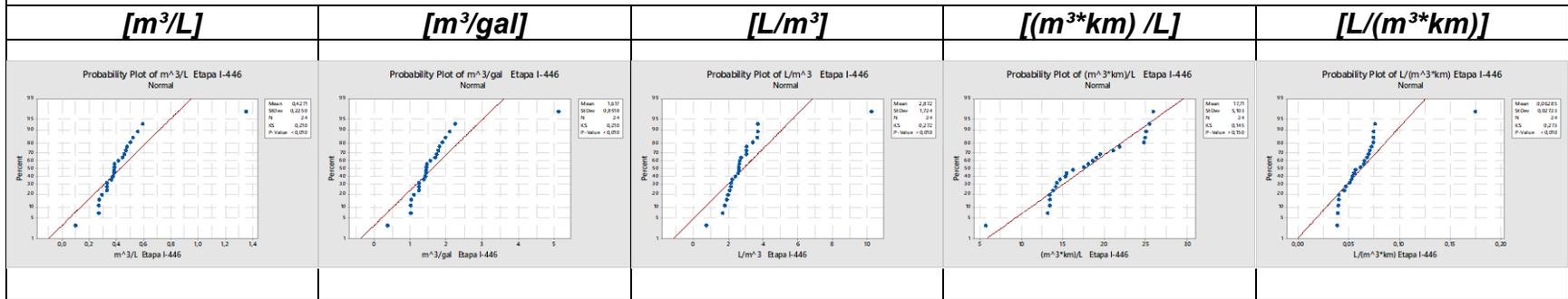


GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA II - 401

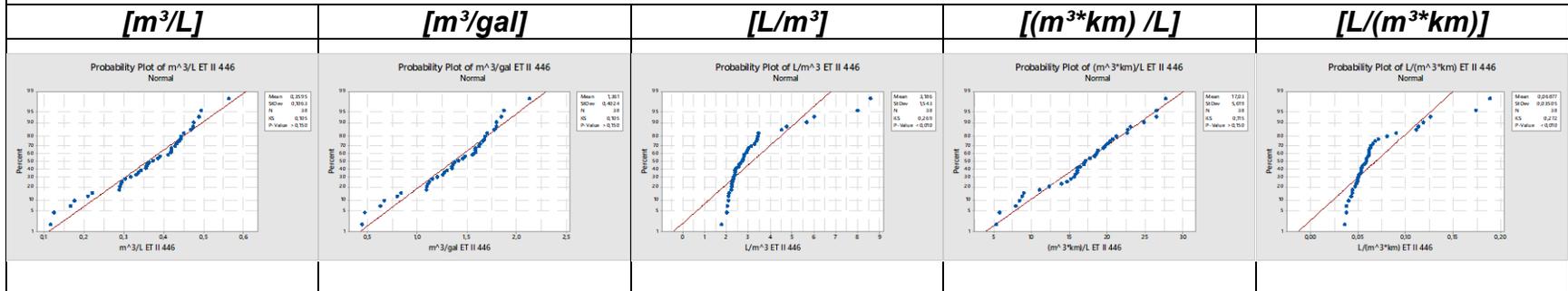


Mezcladora 446

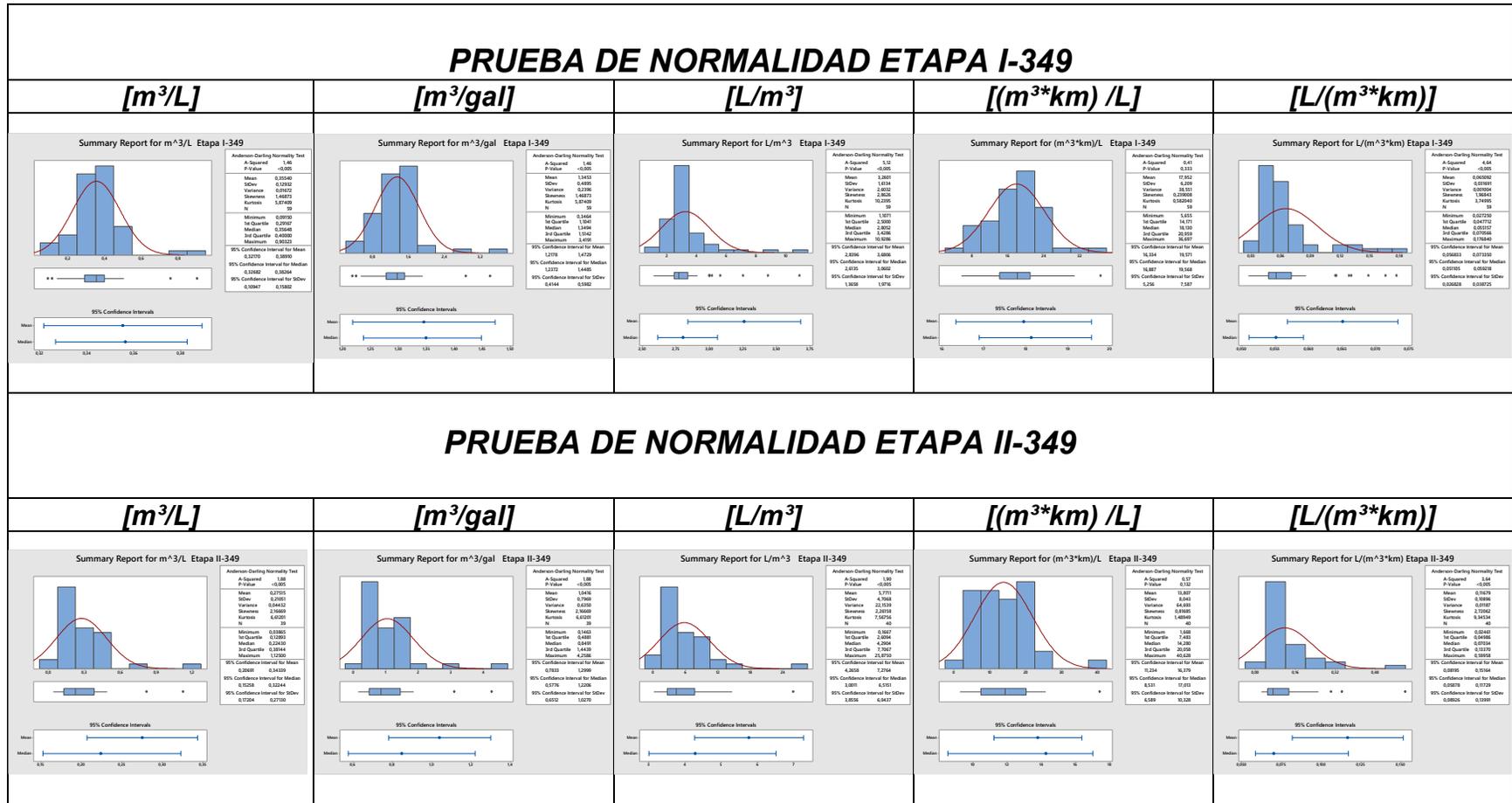
GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA I - 446



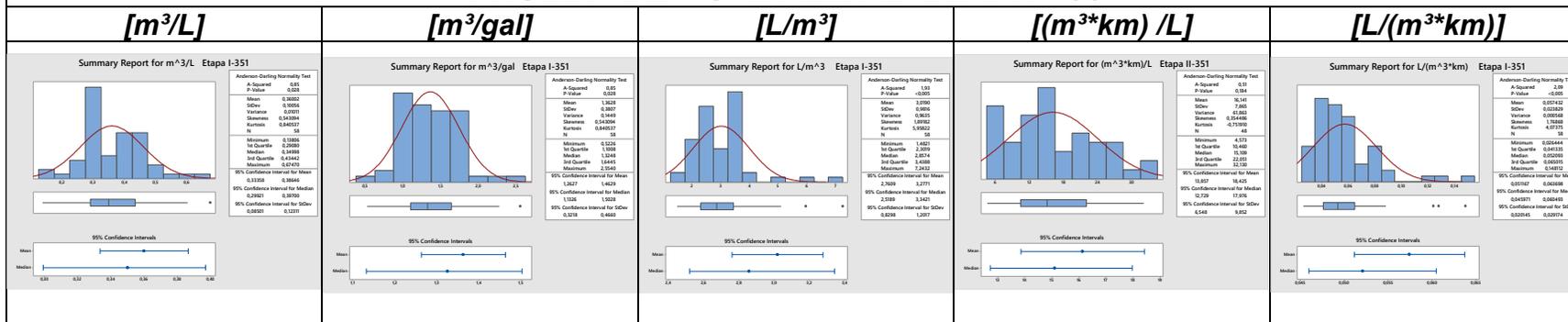
GRAFICA DE NORMALIDAD ETAPA II - 446



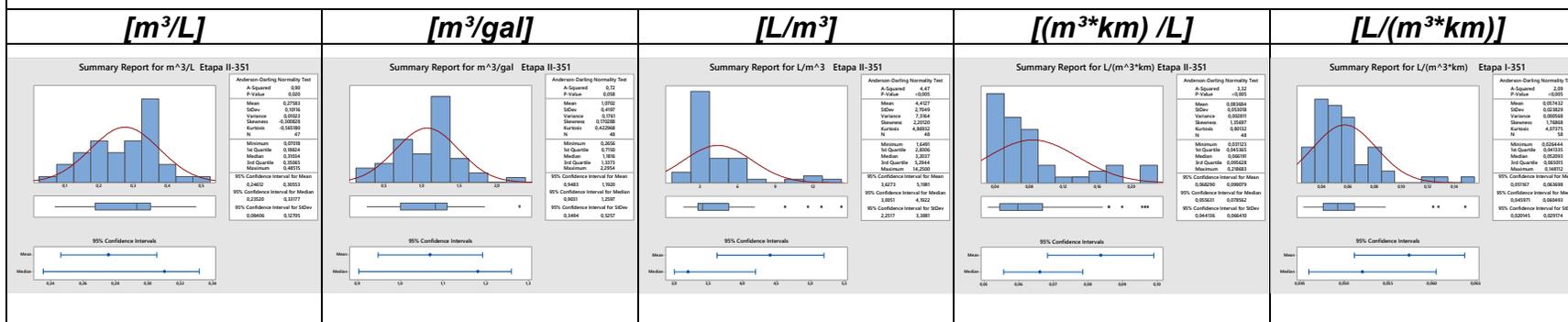
D. Anexo 4 Histogramas, pruebas de normalidad Valor P.



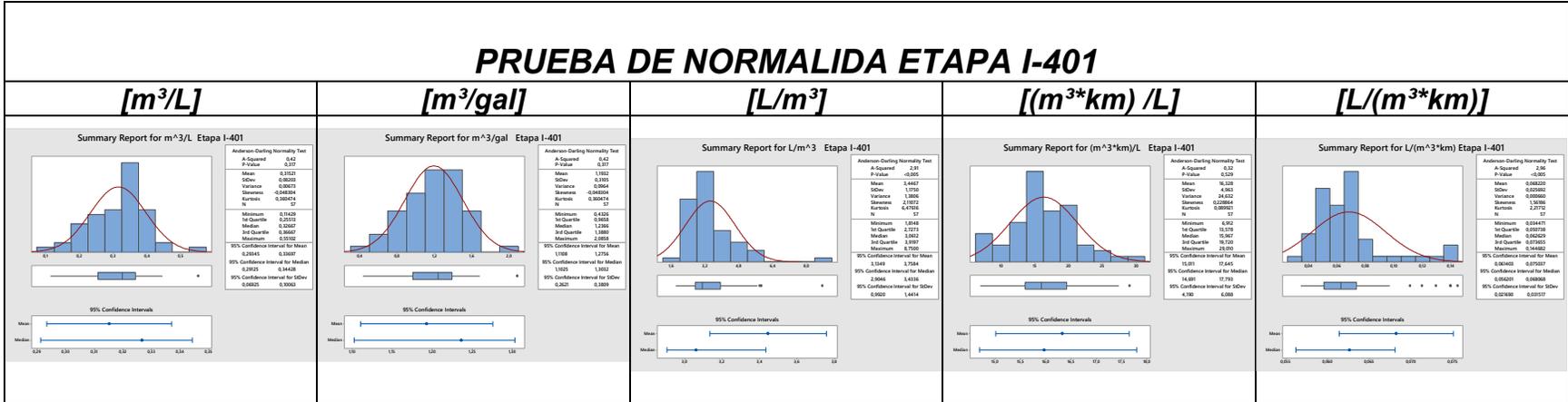
PRUEBA DE NORMALIDAD ETAPA I-351



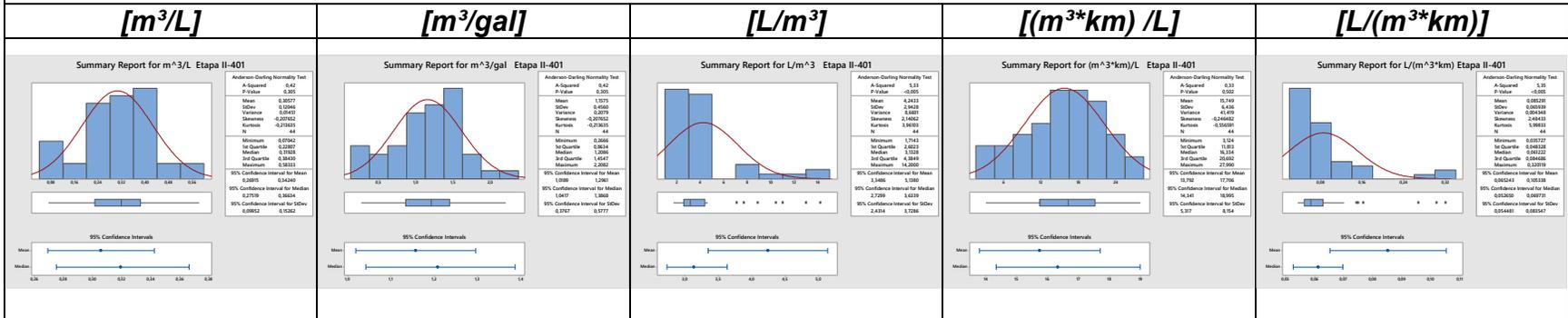
PRUEBA DE NORMALIDAD ETAPA II-351



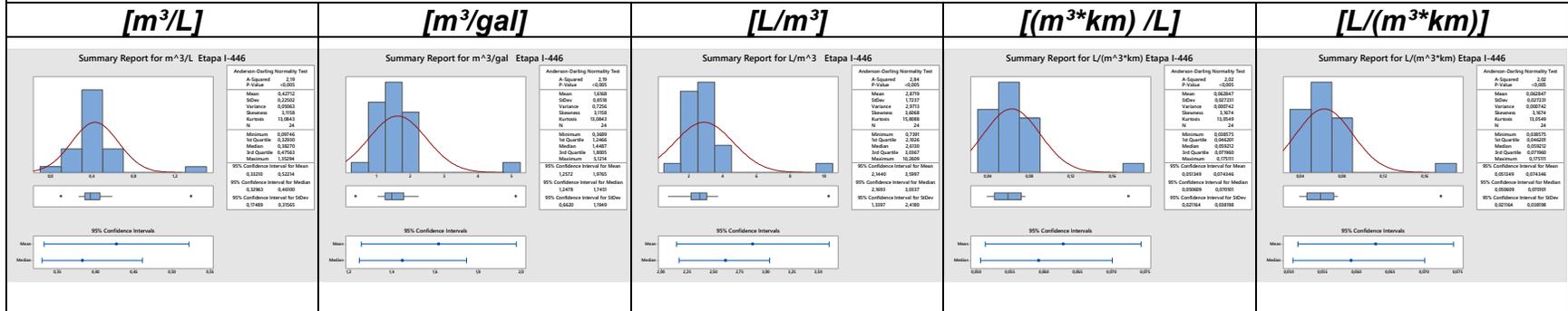
PRUEBA DE NORMALIDA ETAPA I-401



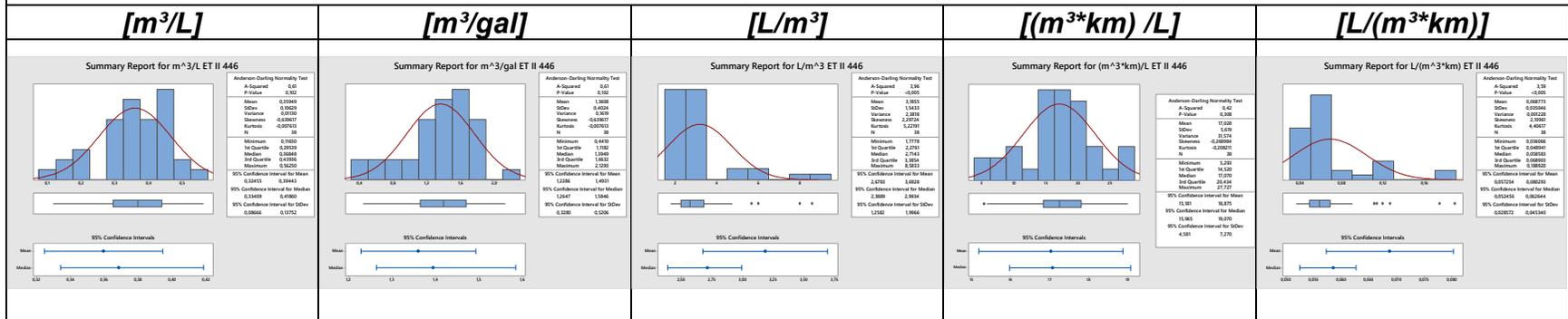
PRUEBA DE NORMALIDA ETAPA II-401



PRUEBA DE NORMALIDAD ETAPA I-446



PRUEBA DE NORMALIDAD ETAPA II-446



E. Anexo 5 Ficha técnica del vehículo.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MACK GU813MIXER	
MOTOR	
Referencia	MP8
Marca	MACK
Norma ambiental	EURO 4 SIN UREA
Cilindraje	12777
Potencia	360 HP (@1.500 - 1.950 RPM)
Torque	1.327 LB FT (@ 1.200 RPM)
Controlador	V-MAC IV (COMPUTADOR CON INYECCIÓN ELECTRÓNICA)
TRANSMISION (CAJA)	
Marca	MACK
Referencia	T310 MLR
No. Cambios	10 Adelante / 2 Atrás
Accionamiento	Mecánico
Relación de transmisión	(27.31 / 0.71)
CHASIS	
Distancia entre ejes	212" (5.385 mm)
Especificaciones	Alto 300 mm x Ancho 105 mm x Grosor 11,1 mm
Largo plataforma	236" (6.002 mm)
Resistencia RBM	3'160.000 inch lbs por pie
Chasis reforzado	5mm Canal interior
EJES	
No. Ejes	3
Marca eje delantero	MACK FXL 20
Capacidad eje delantero	20.000 LBS
Suspensión eje delantero	MACK MULTILEAF
Llantas delanteras	425/65 R 22.5 (direccional)
Marca eje trasero	MACK S462
Capacidad eje trasero	46.000 LBS
Suspensión eje trasero	MACK SS462 CAMELBACK
Llantas traseras	11R 22.5 (tracción)
FRENOS	
Tipo	Neumáticos 100% aire
Freno auxiliar	Mack Power Leash (motor)
Frenos ABS	Incluidos
PESOS	
PBVC	28.000 kg
Peso chasis homologado	8503 kg
EQUIPAMIENTO	
Aire Acondicionado	Incluido
Silla Conductor	Bostrom Talladega ajuste neumático
Timón	Ajustable en altura y profundidad
Switch master baterías	Incluido
Rines	10 Acero
Cornetas	1
Exhostos	1
PTO	instalado en fabrica