



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN
INTERNA QUE POSEE UN SISTEMA DE CARBURACIÓN**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: MICHAEL RENE BELESACA MOROCHO
DANNY FERNANDO VIÑANZACA SOLIS
TUTOR: ING. MILTON OSWALDO GARCÍA TOBAR, MSc.

Cuenca - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Michael Rene Belesaca Morocho con documento de identificación N° 0105910293 y Danny Fernando Viñanzaca Solis con documento de identificación N° 0106547961; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 03 de julio del 2023

Atentamente,



Michael Rene Belesaca Morocho

0105910293



Danny Fernando Viñanzaca Solis

0106547961

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Michael Rene Belesaca Morocho con documento de identificación N° 0105910293 y Danny Fernando Viñanzaca Solis con documento de identificación N° 0106547961, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del Proyecto técnico: “Análisis de la degradación del aceite de un motor de combustión interna que posee un sistema de carburación”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 03 de julio del 2023

Atentamente,



Michael Rene Belesaca Morocho

0105910293



Danny Fernando Viñanzaca Solis

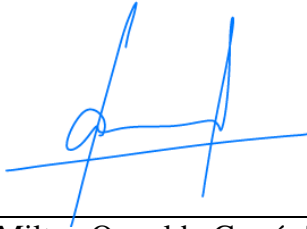
0106547961

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Milton Oswaldo García Tobar con documento de identificación N° 0104282181, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA DEGRADACIÓN DEL ACEITE DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA QUE POSEE UN SISTEMA DE CARBURACIÓN, realizado por Michael Rene Belesaca Morocho con documento de identificación N° 0105910293 y por Danny Fernando Viñanzaca Solis con documento de identificación N° 0106547961, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 03 de julio del 2023

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized 'M' and 'G' followed by a horizontal line and a vertical stroke.

Ing. Milton Oswaldo García Tobar, MSc.

0104282181

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis padres Victor Viñanzaca y María Solis, a mis hermanos Xavier, Edison y Merylin quienes han sido mi mayor inspiración y apoyo incondicional. Nada de esto hubiese sido posible sin ustedes.

Danny Viñanzaca

DEDICATORIA

*El presente proyecto les dedico a mis padres Celia
Morocho y Carlos Matailo a mi hermana Joselin
Matailo por su apoyo incondicional en toda mi vida,
por su paciencia, por toda su confianza, por haber
creído en mí, por su sacrificio que hoy se ve
reflejado en toda mi carrera*

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que de alguna manera intervinieron en la realización de este proyecto.

A Dios, que me ha dado fortaleza para no rendirme y poder cumplir mis metas.

A mis padres y hermanos que con su amor, aliento y apoyo constante han sido mi mayor fuerza a lo largo de mi vida académica y personal.

A mi familia en general y amistades que me han demostrado su amor y cariño disfrutando mis logros y apoyándome en momentos difíciles.

A nuestro tutor Ing. Milton García, ya que con su experiencia y orientación se logró completar este proyecto.

Danny Fernando Viñanzaca Solis

AGRADECIMIENTO

Me complace aprovechar esta oportunidad para expresar mis más sinceros agradecimientos, en primer lugar, a Dios por darme la sabiduría y la fortaleza para poder culminar una fase profesional en mi vida.

A mi querida mamá y hermana quiero dirigirme a ustedes con un profundo agradecimiento y amor por el gran apoyo incondicional que me otorgaron.

Además, quiero agradecer también a todas las personas que formaron parte de la elaboración del proyecto amigos, compañeros y familiares.

A nuestro tutor Ing. Milton García, ya que con su experiencia y orientación logramos realizar de la mejor manera la elaboración del trabajo de titulación.

Michael Rene Belesaca Morocho

RESUMEN

Este proyecto de investigación se enfoca en el análisis de la degradación del aceite de un motor con sistema de carburación en función de la dosificación de la mezcla y el recorrido del kilometraje mediante un protocolo establecido y pruebas de laboratorio.

Como primer punto, se realiza una revisión bibliográfica que resulta de gran utilidad para el desarrollo del marco teórico y la recopilación de información fundamental con lo que se establece un protocolo de muestreo, la definición de las variables y el proceso de experimentación. Culminado esto, se procede a realizar la experimentación, el cual consiste en realizar una puesta a punto del motor para garantizar un buen funcionamiento del mismo. Como siguiente punto, se varía el estado de la mezcla mediante un analizador de gases para modificar el factor lambda estableciendo tres diferentes tipos de mezcla: estequiométrica, rica y pobre. Con cada una de las mezclas el vehículo recorrió 3000 Km y mediante un rango de 500 km se tomó una muestra de aceite.

Para el análisis de las muestras del aceite lubricante se utiliza la técnica de conteo de partículas obteniendo como resultados los valores promedios de cada tipo de mezcla.

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos mediante técnicas de límites estadísticos y diagramas de caja y bigotes para determinar el nivel de contaminación presente en el aceite lubricante.

Palabras Clave: mezcla, estequiometría, degradación, contaminación, conteo de partículas, análisis de aceite.

ABSTRACT

This research project focused on the analysis of the oil degradation of an engine with a carburetion system based on the dosage of the mixture air/fuel and the mileage route through an established protocol and laboratory tests.

As a first point, a bibliographic review was carried out that was very useful for the development of the theoretical framework. Besides, the gathering of fundamental information was vital to establish the sampling protocol, the definition of the variables and the experimentation process. Once this was completed, the experimentation took place, which consisted of making an engine tune up to guarantee its proper functioning.

As a next point, the state of the mixture was modified by a gas analyzer to change the lambda factor, which consists in establishing three different types of mixture: stoichiometric, rich and poor. With each of the mixtures the vehicle traveled 3000 km and through a range of 500 km an oil sample was taken. For the analysis of the lubricating oil samples, the particle counting technique was used, obtaining as results the average values of each type of mixture.

Finally, the results obtained were analyzed using tools such as statistical limits techniques and box-plots diagrams to determine the level of contamination present in the lubricating oil.

Keywords: mixing, stoichiometry, degradation, contamination, particle count, oil analysis

Tabla de Contenidos

DEDICATORIA	11
AGRADECIMIENTO	13
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
Tabla de Contenidos	17
Índice de Tablas	23
INTRODUCCION	<i>¡Error! Marcador no definido.</i>
PROBLEMA	25
Antecedentes	25
Importancia y alcances	25
Delimitación	26
Objetivo General y Específicos	27
Objetivo General	27
Objetivo Específicos	27
Capítulo 1: Fundamento Teórico y Estado del Arte	28
Introducción	28
Motor de Combustión Interna	28
Ciclo Otto de 4 Tiempos.....	29
Alimentación	31
Carburador.....	32
Mezcla Aire-Combustible	33
Dosificación.....	33
Factor Lambda.....	34
Mezcla rica.....	34
Mezcla pobre.....	35

Estequiometria de la Combustión.....	35
Emisiones Contaminantes.....	38
Monóxidos de carbono	39
Hidrocarburos no quemados	39
Dióxido de carbono	39
Óxidos de Nitrógeno NOx	40
Medición de las Emisiones Contaminantes Con Analizador de Gases	40
Elaboración de la Medición.	40
Proceso de Medición.....	41
Detección de Averías.	41
Aceites Lubricantes	42
Propiedades del Lubricante	43
Degradación Del Aceite Lubricante	44
Factores Que Influyen En La Degradación Del Aceite Lubricante	45
Capítulo 2: Proceso De Muestreo.....	48
Variables	48
Variables de Entrada.....	48
Aceite Kendall 20W-50.	49
Mezcla y Cuantificación.	50
Variables Controlables	52
Variables No controlables	53
Variables de Respuesta.....	53
Frecuencia de Muestreo.....	54
Vehículo de experimentación	54

Puesta A Punto del Motor.....	56
Elementos Para La Sustracción De La Muestra Del Aceite	57
Recipiente De Almacenamiento	57
Etiqueta De Identificación.....	58
Contador De Partículas Yateks YJS 150.....	58
Datos Técnicos	59
Principio De Funcionamiento.....	60
n-Heptano hplc	61
Procesamiento De Muestras	61
<i>Capítulo 3: Análisis de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones</i>	<i>63</i>
Limites Estadísticos.....	63
Determinación de limite.....	63
Limite Normal	64
Límite de Precaución	64
Limite Crítico	64
Caja y bigotes (box plot)	65
Análisis de gráficas y diagramas.....	67
Partículas de 1 um.....	67
Partículas de 10 um.....	69
Partículas de 20 um.....	71
Partículas de 30 um.....	72
Partículas de 50 um.....	73
Conclusiones	75

Recomendaciones	77
<i>Bibliografía</i>.....	79

Índice de Figuras

Figura 1	Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana	26
Figura 2	Motor de combustión interna seccionado.....	29
Figura 3	Ciclos de operación de un motor Otto.....	31
Figura 4	Circuito de alimentación con carburador	32
Figura 5	Carburador Weber tipo 32 IT	33
Figura 6	Sistema de lubricación de un motor de combustión interna.....	42
Figura 7	Temperatura máxima y mínima del lubricante.....	45
Figura 8	Sustancias químicas en el índice de viscosidad.....	47
Figura 9	Factores de interferencia	48
Figura 10	Marcas más vendidas de aceites lubricantes para motor a gasolina en el Ecuador	49
Figura 11	Aceite Kendall 20W-50.....	50
Figura 12	Regulación de la mezcla.....	51
Figura 13	Resultados del analizador de gases	52
Figura 14	Vehículo de experimentación.....	55
Figura 15	Puesta a punto del vehículo de experimentación.....	56
Figura 16	Bomba de vacío	57
Figura 17	Recipiente de almacenamiento	57
Figura 18	Contador de Partículas Yateks YJS 150.....	58
Figura 19	Principio de extinción de luz.....	60
Figura 20	Frasco de n-Heptano hplc.....	61
Figura 21	Esquema del diagrama de caja y bigotes.....	66
Figura 22	Tipos de muestras de un esquema de caja y bigotes	67
Figura 23	Dispersión de puntos (1 μm)	68

Figura 24 Diagrama de caja y bigotes (1 um).....	69
Figura 25 Dispersión de puntos (10 um)	70
Figura 26 Diagrama de caja y bigotes (10 um).....	70
Figura 27 Dispersión de puntos (20 um)	71
Figura 28 Diagrama de caja y bigotes (20 um).....	72
Figura 29 Dispersión de puntos (30 um)	72
Figura 30 Diagrama de caja y bigotes (30 um).....	73
Figura 31 Dispersión de puntos (30 um)	74
Figura 32 Diagrama de caja y bigotes (50 um).....	75

Índice de Tablas

Tabla 1	Emisiones máximas según normativas	41
Tabla 2	Especificaciones técnicas del lubricante	50
Tabla 3	Regulación de la mezcla	51
Tabla 4	VARIABLES CONTROLABLES.....	52
Tabla 5	VARIABLES NO CONTROLABLES.....	53
Tabla 6	VARIABLES DE RESPUESTA.....	53
Tabla 7	Muestreo de aceite según el kilometraje	54
Tabla 8	Datos técnicos del vehículo Mitsubishi Lancer GLX	55
Tabla 9	Etiqueta de la muestra	58
Tabla 10	Aspectos Técnicos del equipo Yateks YJS 150.....	59
Tabla 11	Cálculos realizados	65

Introducción

En el campo automotriz para que un motor demuestre su óptimo funcionamiento es vital que el sistema de alimentación proporcione una dosificación de la mezcla aire-combustible lo más precisa posible para garantizar la vida útil de los elementos que conforman el motor. Uno de estos elementos, es el aceite lubricante que cumple con las funciones de: reducir la fricción entre las piezas mecánicas, oponerse a la oxidación, disminuir la contaminación, lubricar, etc. Por tal motivo esta investigación propone manipular la proporción de mezcla aire-combustible para observar la cantidad de contaminación de aceite que genera un mal control de la dosificación con la finalidad de obtener datos relevantes y constatar cuan perjudicial es para el aceite lubricante.

Este procedimiento se realizará mediante una técnica de laboratorio denominada conteo de partículas, el cual ayudará a determinar la cantidad de partículas sólidas contaminantes presentes en el aceite lubricante y mediante un análisis minucioso poder establecer bajo qué tipo de mezcla y recorrido de kilometraje el aceite se encuentra en un nivel crítico.

Problema

Uno de los principales problemas en un vehículo a carburador es la capacidad de mantener una buena regulación de la mezcla debido a su regulación mecánica que generaría varios inconvenientes como: mayores emisiones de gases contaminantes, consumo de combustible, mal funcionamiento en el motor, daños a sus componentes internos, etc. Propietarios de estos vehículos no están conscientes del daño que generaría una mala dosificación de la mezcla a un elemento en especial como es el aceite lubricante.

Antecedentes

Desde que se inventó el primer motor de combustión interna se ha examinado la importancia de la mezcla aire-combustible en el proceso de combustión, es por eso que se han desarrollado sistemas más precisos que se controlen mediante una computadora y no por la mano del hombre. Sin embargo, al existir todavía vehículos con un sistema mecánico de alimentación es vital estudiar cuan perjudicial es una mala regulación de la mezcla aire-combustible en el desempeño del aceite lubricante.

Importancia y alcances

En la ciudad de Cuenca aún existe una gran variedad de vehículos que poseen un sistema de carburación, muchos de sus propietarios desconocen que una mala regulación de la mezcla (rica o pobre) afecta directamente la calidad del lubricante. Es por eso que mediante un análisis del aceite se podrá determinar la cantidad de partículas contaminantes que deterioran al lubricante, ya que al no existir una mezcla ideal (estequiométrica) afectaría directamente a diferentes componentes dentro del motor, uno de ellos el aceite lubricante. Por tal razón, este estudio podrá demostrar a los propietarios de estos vehículos la importancia de tener una buena regulación de la mezcla para que el lubricante mantenga sus propiedades y dure lo establecido por el fabricante.

Montijo et al. (2019) definen que la importancia de este tipo de análisis en el aceite aporta a visualizar el estado en el que se encuentra el lubricante, y de esta manera también poder interpretar hasta los posibles factores de fallas. Al mantener una correcta dosificación influirá a que el aceite lubricante sea confiable y seguro y cumpla con su adecuado funcionamiento.

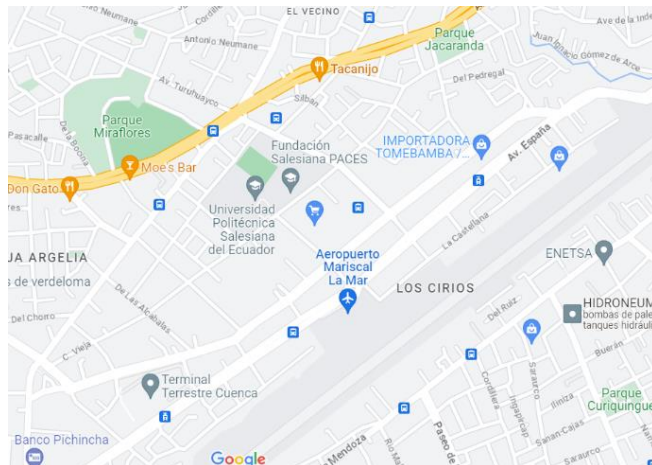
Se han realizado investigaciones de la degradación del aceite provocados por factores como la temperatura del motor, aditivos de combustible y filtros de aceite, mas no por el control de la mezcla, es por eso que esta investigación ampliara más el campo de conocimientos sobre el aceite lubricante.

Delimitación

En el proyecto se realizará en la Universidad Politécnica Salesiana, provincia del Azuay, Ciudad de Cuenca, ubicada al sur del Ecuador, la cual consta de una altitud de 2500 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una extensión aproximada de 70.59 Km².

Figura 1

Ubicación de la Universidad Politécnica Salesiana



Nota. Tomado del Mapa de la ciudad de Cuenca, por Google Maps, 2023.

Objetivo General y Específicos

Objetivo General

Analizar la degradación de las propiedades del aceite de un motor de combustión interna con sistema de carburación.

Objetivo Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica del impacto que causa la cuantificación de la mezcla en la degradación del aceite lubricante en un motor a carburación.
- Efectuar el procedimiento de muestreo, considerando las variables a intervenir en base a la dosificación de la mezcla.
- Analizar los resultados obtenidos utilizando un estudio de laboratorio de control de calidad para la determinación del estado del lubricante.



Capítulo 1: Fundamento Teórico y Estado del

Arte

Introducción

En el presente apartado se realizará una investigación teórica y bibliográfica para entender ciertas definiciones en el proceso investigativo y establecer un protocolo de muestreo adecuado para el experimento. Además, en base al fundamento teórico se podrá definir las variables necesarias, el proceso de experimentación y los posibles resultados a obtener.

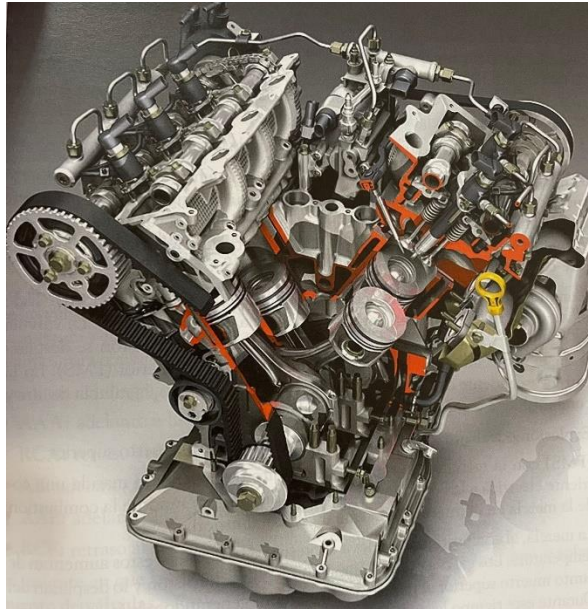
Motor de Combustión Interna

El motor de combustión interna es sin duda alguna una máquina excepcional que desde que se inventó en 1876 por el alemán Nicolás Otto ha evolucionado mucho con el transcurso del tiempo y el avance de la tecnología. Hoy en día es el motor de mayor demanda en el mundo para la movilidad, no solo por la eficiencia que alcanza (entre un 35%-40%), sino que, en base a las nuevas tecnologías aplicadas, el implemento de la electrónica, la mejor calidad del combustible, el uso de materiales más ligeros y resistentes, etcétera, han contribuido a que estos motores térmicos logren una potencia fenomenal (Villegas, 2007).

El motor de combustión interna está conformado por una agrupación de elementos mecánicos que tienen la finalidad de obtener energía mecánica directamente de la inflamación de un combustible en el proceso conocido como combustión (Rovira & Muñoz, 2015).

Figura 2

Motor de combustión interna seccionado



Nota. Tomado de *Elementos Amovibles*, por E. Domínguez & D. Ferrer, 2013, Editex.

Durante el proceso de combustión la energía química del combustible se convierte en energía calorífica que son aprovechados por los conjuntos mecánicos del motor transformándolos en energía mecánica para poder movilizar el vehículo (Domínguez & Ferrer, 2013).

El propósito de un motor de combustión interna (Figura 2) es cumplir un trabajo de la manera más eficiente posible. Para un mejor entendimiento del proceso que realiza un motor para lograr generar un trabajo es importante explicar el ciclo termodinámico que realiza.

Ciclo Otto de 4 Tiempos

El período de trabajo de un motor Otto consiste en ciclo termodinámico que se efectúa mediante dos transformaciones a volumen constante y dos politrópicas, es decir una de compresión y una de expansión (Caputo et al., 2015). El proceso de este ciclo toma lugar en 4 fases en donde

van a existir 4 carreras del pistón, que son admisión, compresión, trabajo y escape. El pistón se encarga de aspirar la mezcla aire-combustible comprimirla y de expulsar los gases quemados del cilindro (Secundino et al., 2000).

- **Fase de Admisión (primera carrera del pistón)**

En esta fase el pistón se encuentra en el punto más alto del cilindro (PMS), cuando la válvula de admisión se abre el pistón empieza a descender y a aspirar la mezcla aire combustible debido a la depresión producida por el pistón que cumple con un recorrido hacia el punto más bajo del cilindro (PMI), en esta fase el cigüeñal gira 180° o media vuelta (Quezada & Seade, 2006).

- **Fase de Compresión (segunda carrera del pistón)**

En esta fase, el pistón se moviliza desde el PMI hacia el PMS con la característica de que tanto las válvulas de admisión como de escape están cerradas. A medida que el pistón asciende los gases atrapados en la cámara de compresión son comprimidos y calentados. Al efectuarse la carrera de compresión los gases alcanzan una presión aproximada de 15 bares y una temperatura que rodea los 450 C°. En esta fase el cigüeñal ha completado otra media vuelta (Alonso, 2013).

- **Fase de trabajo o expansión (tercera carrera del pistón)**

Al finalizar la compresión de la mezcla, un elemento fundamental como es la bujía con una alta energía eléctrica ejerce una chispa y enciende la mezcla lo cual incrementa la presión en el cilindro y como consecuencia desplaza el pistón hacia el punto más bajo del cilindro, es qui en esta fase donde se realiza el trabajo útil del motor (Hoag & Dondlinger, 2015)

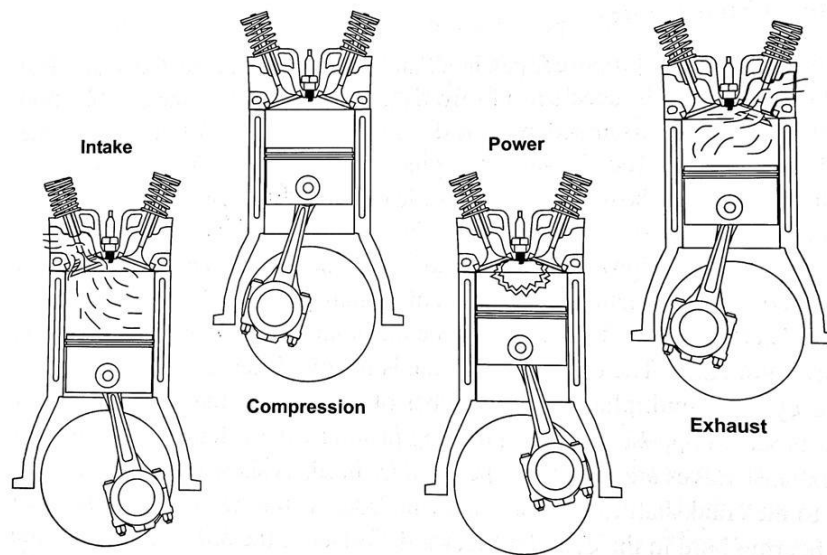
- **Fase de escape (cuarta carrera del pistón)**

A finalizar la tercera carrera del pistón, este se encuentra en el PMI, la válvula de escape abre su orificio y los gases quemados salen del interior del cilindro debido a la presión que existe. Los gases quemados restantes son expulsados a través de la válvula de escape cuando el pistón se desplaza desde el PMI hacia PMS (Secundino et al., 2000).

En la Figura 3 se observa las 4 fases que se detallaron anteriormente.

Figura 3

Ciclos de operación de un motor Otto



Nota. Tomado de *Vehicular Engine Design* (p 4-5), por Hoag & Dondlinger, 2015, Springer International Publishing

Alimentación

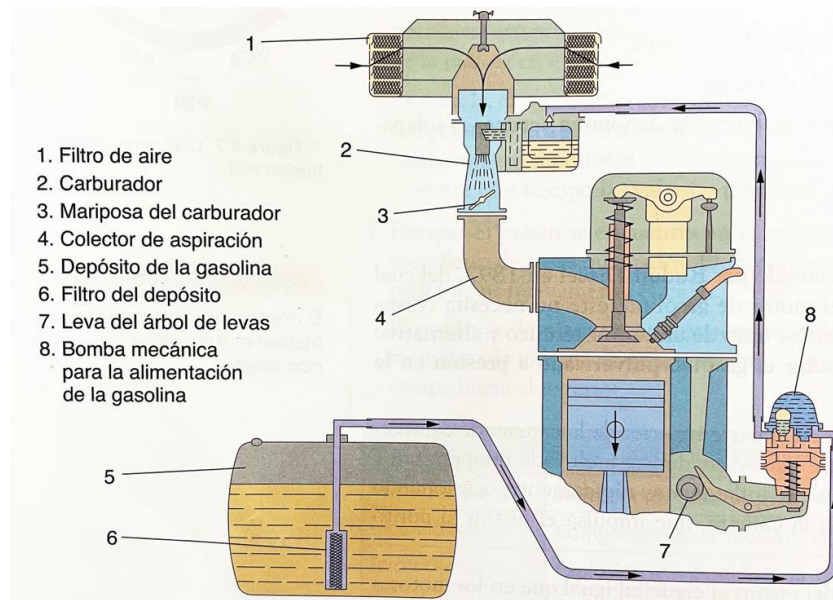
En un motor de combustión interna Otto la alimentación consiste en suministrar una cantidad de mezcla aire/combustible en el interior de los cilindros de manera perpetua y que dicha mezcla sea en cantidades adecuadas dependiendo de las prestaciones que requiera el motor (Marín,

2016). El sistema de alimentación de combustible consta de un depósito, bomba de combustible y un dosificador de combustible (Sardiña et al., 2017).

En la Figura 4 se detalla los elementos vitales de un sistema de alimentación por carburador.

Figura 4

Circuito de alimentación con carburador



Nota. Tomado de *Elementos Amovibles*, por Domínguez & Ferrer, 2013, Editex

Carburador

La característica principal de este sistema de alimentación es que es puramente mecánico. La carburación consiste en pulverizar y vaporizar la mezcla consistente de combustible con una cantidad específica de aire (Gualtieri, 2008).

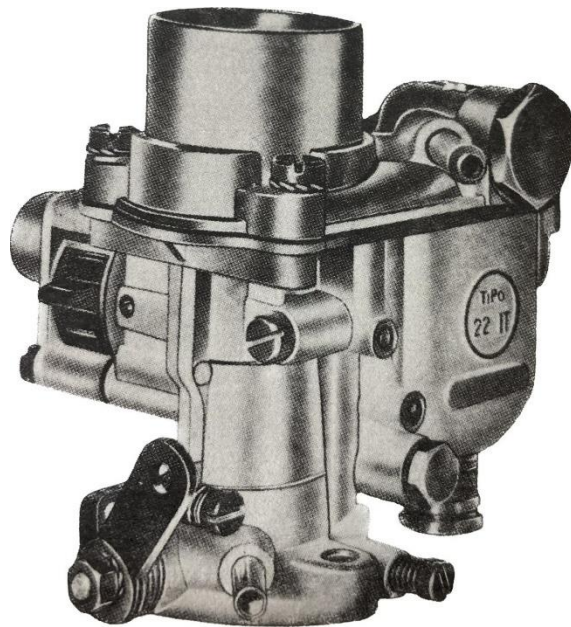
En un sistema de carburación se da el siguiente proceso:

- El caudal del aire es controlado por el pedal del acelerador que atraviesa un filtro de aire para que de esta manera se mezcle con la gasolina e ingresen al motor mediante la mariposa. La gasolina es succionada mediante una bomba de combustible y se encarga de

transportarla hacia el carburador. Este elemento se encarga de pulverizar el combustible y llevarlo hacia el colector de admisión mediante diversos canales. La mezcla aire y combustible se produce mecánicamente por la acción de succión de los pistones en los cilindros (Astudillo, 2010). En la Figura 5 se observa la parte externa de un carburador.

Figura 5

Carburador Weber tipo 32 IT



Nota. Tomado de *Carburadores*, por M. de Castro Vicente, 1980, CEAC.

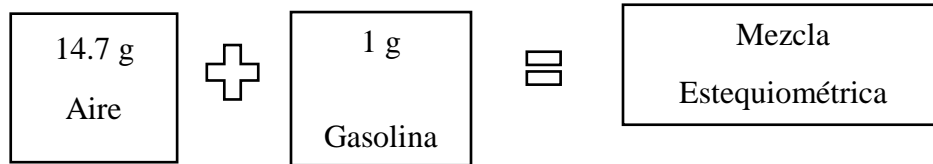
Mezcla Aire-Combustible

Cantidad de aire y combustible necesaria para el proceso de combustión en un motor de combustión interna.

Dosificación

Pérez (2017) define a la dosificación como una acción de controlar la proporción de aire en relación a la del combustible con la finalidad de ajustarla a cada circunstancia de

funcionamiento y lograr una estequiometria, es decir, una cantidad exacta de aire y gasolina medida en masa y no en volumen para lograr con el proceso de combustión.



Factor Lambda

Una investigación realizada por González (2019) sobre la determinación del factor lambda en un grupo específicos de automóviles señala que dicho factor esta designado habitualmente con la letra griega "λ" e indica la proporción de aire/combustible (en peso) en forma de mezcla que entra al cilindro de un motor de combustión interna a gasolina y esta a su vez se compara con la proporción estequiométrica de la mezcla ideal que es 14,7 partes de aire por 1 parte de combustible, todo ello en peso. La ecuación 1 indica como se determina el factor lambda.

$$Factor\ lambda = \frac{Masa\ de\ aire\ aspirada}{Masa\ de\ aire\ precisa\ para\ la\ combustión} \quad (1)$$

Mezcla rica

Se denomina mezcla rica a la mezcla aire/combustible en donde existe una mayor presencia de combustible que de aire. Además, su dosificación es menor a 14.7: 1, es decir el valor del factor lambda es menor a 1. Este tipo de mezcla presenta características como un consumo alto de combustible y el alto grado de emisiones contaminantes (Pezantes & Zamora, 2015). Sin embargo, una mezcla rica en un motor de combustión interna Otto es obligatoria bajo las siguientes circunstancias:

- En el arranque del motor
- Aceleración

- Máxima potencia del motor.

Mezcla pobre

Se denomina mezcla pobre a la mezcla aire/combustible en donde existe una mayor proporción de oxígeno en los gases residuales debido a que no ha combustionado en su totalidad con la escasez de combustible. El factor lambda en dicha mezcla es mayor a 1 ($\lambda > 1$) (M. Pérez, 2017). La mezcla pobre es fundamental para las siguientes prestaciones:

- A una velocidad estable del motor.
- Frenado o desaceleración.
- Ahorro de combustible.

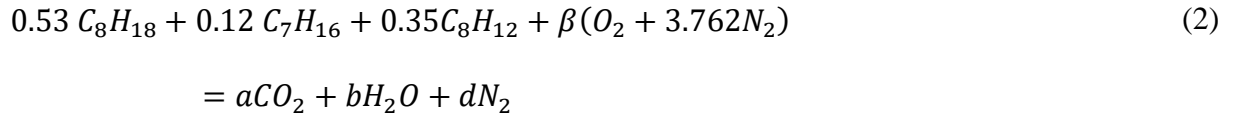
Estequiometria de la Combustión

Para un mejor entendimiento de la proporción adecuada de aire y combustible que ingresa al motor es necesario entender cómo se determina dicha proporción. En una combustión ideal todo el carbono del combustible reacciona con el oxígeno y forma dióxido de carbono, todo el hidrogeno del combustible reacciona con el oxígeno y forma agua y el nitrógeno del combustible no reacciona.

La gasolina está compuesta de la siguiente manera:

- 53% de Isoctano C_8H_{18}
- 12% Heptano C_7H_{16}
- 35% Octano C_8H_{12}

La ecuación 2 hace referencia a la ecuación química para la combustión teórica.



Conteo de carbono en reactivos

$$0.53 C_8H_{18} + 0.12 C_7H_{16} + 0.35C_8H_{12} = aCO_2 \quad (3)$$

$$0.53 * 8 + 0.12 * 7 + 0.35 * 8 = a * 1 \quad (4)$$

Conteo de carbono en productos

$$7.88 = a \quad (5)$$

Conteo de hidrogeno en reactivos

$$0.53 C_8H_{18} + 0.12 C_7H_{16} + 0.35C_8H_{12} += +bH_2O \quad (6)$$

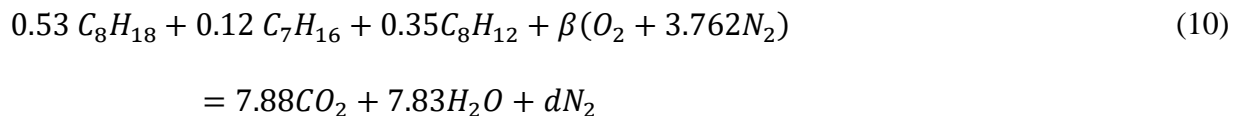
$$0.53 * 18 + 0.12 * 16 + 0.35 * 12 = 2b \quad (7)$$

$$15.66 = 2b \quad (8)$$

Conteo de hidrogeno en productos

$$7.83 = b \quad (9)$$

La ecuación nos quedaría de la siguiente manera



Conteo de oxígenos en reactivos

$$\beta(O_2 + 3.762N_2) = 7.88CO_2 + 7.83H_2O \quad (11)$$

$$2\beta = 7.88 * 2 + 7.83 * 1 \quad (12)$$

Conteo de oxígenos en productos

$$\beta = 11.8 \quad (13)$$

Conteo de nitrógeno en reactivos

$$\beta(O_2 + 3.762N_2) = dN_2 \quad (14)$$

$$11.8(3.762N_2) = dN_2 \quad (15)$$

$$11.8 * 3.762 * 2 = 2d \quad (16)$$

Conteo de nitrógenos en productos

$$44.37 = d \quad (17)$$

La ecuación del combustible teórica sería la siguiente:

$$\begin{aligned} 0.53 C_8H_{18} + 0.12 C_7H_{16} + 0.35C_8H_{12} + 11.8(O_2 + 3.762N_2) \\ = 7.88CO_2 + 7.83H_2O + 44.37N_2 \end{aligned} \quad (18)$$

La composición molar de los productos de la combustión es la siguiente:

$$100\% = 7.88CO_2 + 7.83H_2O + 44.37N_2 \quad (19)$$

$$7.88CO_2 + 7.83H_2O + 44.37N_2 = 60.08\% \quad (20)$$

$$100\% = \frac{7.88CO_2}{60.08\%} + \frac{7.83H_2O}{60.08\%} + \frac{44.37N_2}{60.08\%} \quad (21)$$

$$100\% = \frac{7.88CO_2}{60.08\%} + \frac{7.83H_2O}{60.08\%} + \frac{44.37N_2}{60.08\%} \quad (22)$$

$$100\% = 13.12\%CO_2 + 13.03H_2O + 73.85N_2 \quad (23)$$

En los reactivos:

Numero de moles del oxígeno = 11.84

Numero de moles del aire = 56.38

Numero de moles del nitrógeno = 44.54

La relación aire/combustible se determina de la siguiente manera:

$$AFR = \frac{m_{aire}}{m_{comb}} \quad (24)$$

$$AFR = \frac{N * M_{aire}}{N * M_c + N * M_{H_2}} \quad (25)$$

$$AFR = \frac{56.38kmol * 29 \frac{kg}{kmol}}{7.93kmol * 12 \frac{kg}{kmol} + 7.82kmol * 2 \frac{kg}{kmol}} \quad (26)$$

$$AFR = 14.78 \quad (27)$$

Por cada kilogramo de combustible se requieren 14.7 de aire.

Emisiones Contaminantes

Existen muchos contaminantes que pueden afectar la salud de una persona, sin embargo, los principales provienen de emisiones primarias como por ejemplo la emisión de gases producidos por los vehículos automotores. Los automóviles producen monóxido de carbono, óxidos de

nitrógeno, hidrocarburos no quemados, dióxido de carbono, compuestos de plomo, anhídridos sulfurosos y partículas sólidas que son perjudiciales para el medio ambiente y seres vivos (Romero et al., 2006).

Monóxidos de carbono

Se produce al quemar sustancias que contienen carbono y que carecen de suficiente aire. Se caracteriza por ser un gas que no contiene color ni olor, y por ser el principal contaminante en el sector urbano. Además, en el ser humano puede causar asfixia debido a que, si el monóxido de carbono se mezcla con la hemoglobina de la sangre, este impide la filtración del oxígeno (Carreras et al., 2005). Las altas emisiones de CO son controladas por el sistema PCV (Sistema de ventilación de gases del Carter), y el convertidor catalítico (Halderman, 2011).

Hidrocarburos no quemados

Los hidrocarburos por su nomenclatura química HC al entrar en contacto con los óxidos de nitrógeno NO_x por el aumento de la temperatura y la luz solar pueden causar grandes adversidades a los seres humanos tales como: irritación en los ojos, tos, insuficiencia respiratoria, jadeo, etc.

Esto se produce debido a la formación de ozono en el suelo (D. Pérez, 2018). Los hidrocarburos no quemados se miden en partes por millón [*p. p. m*] y su cifra no debe ser superior a las 100 ppm (M. Pérez, 2017). Las grandes proporciones de emisiones de hidrocarburos no quemados son controladas por el sistema evaporativo de gases, el sistema PCV y el convertidor catalítico (Halderman, 2011).

Dióxido de carbono

El CO₂ se forma al combinar el carbono que se encuentra en el combustible y el oxígeno del aire durante una combustión completa. Este tipo de gas invernadero se caracteriza por retener

radiación térmica que se refleja en la superficie terrestre. Y por ser uno de los principales causantes del calentamiento global del planeta ((Almeida et al., 2001).

Óxidos de Nitrógeno NOx

La División de Toxicología ToxFAQs TM (2002) señala que este compuesto se forma en base a una mezcla de nitrógeno y oxígeno y que son catalogados como altos tóxicamente. También nos indica que exponerse a bajos niveles de este compuesto puede afectar la salud del ser humano irritando los ojos, garganta, pulmones o incluso provocando cansancio y náusea y que exponerse a concentraciones altas de óxidos de nitrógeno puede causar quemaduras, espasmos, dilatación de los tejidos de la garganta, acumulación de líquido en los pulmones e incluso la muerte.

En los motores de combustión interna Otto los óxidos de nitrógenos se forman debido a las grandes temperaturas que toman lugar en la combustión, mientras que en los motores de encendido por compresión la formación de NOx se da principalmente por el exceso de aire (M. Pérez, 2017). Las excesivas emisiones de NOx son intervenidas por el sistema EGR (Recirculación de gases de escape) y el convertidor catalítico (Halderman, 2011).

Medición de las Emisiones Contaminantes Con Analizador de Gases

Para cumplir con una medición eficaz de emisiones contaminantes utilizando un analizador de gases se debe efectuar el siguiente procedimiento.

Elaboración de la Medición.

- Afinación del motor, verificar nivel de aceite, estado de bujías, filtros de aire y combustible; comprobar que no exista fugas en el escape, régimen de ralentí y avance al encendido.
- El motor debe encontrarse en su temperatura de funcionamiento.
- Verificar estado de los filtros del analizador y que no exista líquido en ellos.

- Ejecutar el analizador de gases y esperar que se caliente y sus valores iniciales se ajusten a cero.

Proceso de Medición.

- En base a las normas euro y el vehículo a inspeccionar, en la Tabla 1 se resumen los valores máximos permitidos a un vehículo con un sistema de alimentación por carburador.

Tabla 1

Emisiones máximas según normativas

	Factor Lambda	CO	HC	CO2	O2
Valores correctos ralentí	0,98	< 0,5 – 2 %	175-250 p.p.m.	12 -16 %	0,5-3%
V. correctos a 3500 rpm	1 a 1,08	0.8 %	100 p.p.m.	15 %	1,5%
Mezcla rica ralentí	0,98	> 0,8 %	> 100 p.p.m.	< 15 %	< 1 %
Mezcla pobre ralentí	1,3	< 0,5 %	> 100 p.p.m.	< 15 %	> 1,5 %

Nota. Adaptado de *Sistemas Auxiliares del Motor* (p. 260), por M. Perez, 2017, Paraninfo.

Detección de Averías.

- El analizador de gases puede detectar diferentes averías basándose en los resultados obtenidos tales como: enriquecimiento excesivo de la mezcla, fugas de escape y fallos de encendido debido a mezcla pobre con altos índices de HC.

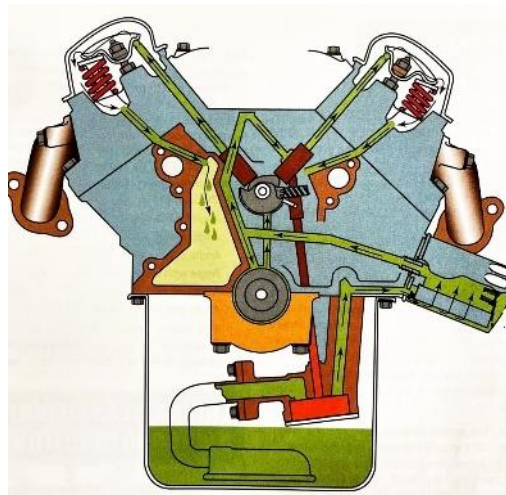
Aceites Lubricantes

Diaz & Albo (2018) indican que un lubricante es la separación de dos elementos que se encuentran en rozamiento, de tal manera, los componentes conformados en el lubricante ayudaran a la separación de los elementos sometidos a fricción, y de esa manera evitara el desgaste de las partes metálicas, a su vez reducirá el calor que es generada por la energía producida, cabe recalcar que el lubricante consta de diferentes tipos de propiedades el cual se determinará dependiendo la recomendación del fabricante.

El aceite lubricante juega un papel importante en la eficiencia del motor. Sin lubricación se generaría una fuerte fricción metálica que desencadenaría en una pérdida de potencia y un desgaste destructivo del motor. Por otra parte, con una correcta lubricación el índice de fricción se reduce notablemente generando una ligera perdida de potencia y reduciendo el desgaste de los elementos lubricados en el motor (Isaza & Gonzales, 1981). En la Figura 6 se observa como el lubricante recorre todo el motor cumpliendo su función.

Figura 6

Sistema de lubricación de un motor de combustión interna



Nota. Adaptado de *Sistemas Auxiliares del Motor*, por M. Perez, 2017, Paraninfo.

Propiedades del Lubricante

Punto de inflamación

Según Hameed & Ali (2020) el punto de inflamación es la temperatura más baja que tienden a causar vapores en el aire con la finalidad de que se pueda inflamarse momentáneamente cuando exista chispa en condiciones específicas. Cuando exista una limitación en el punto de inflamación este fenómeno será provocado por la penetración del combustible.

Punto de fuego

Cuando exista un calentamiento en el aceite que supere el punto de inflamación y alcance temperaturas superiores, los vapores de aceite se liberaran lo más rápido para su combustión durante un periodo de 5 segundos (Hameed & Ali, 2020). A esta temperatura se la cocone como *Punto de Fuego*.

Punto de fluidez

La temperatura mínima que puede influir un aceite, cuando un óleo se encuentra a bajas temperaturas se vuelven más viscosos por lo que elevara la resistencia interna del fluido lo que podría ser perjudicial puesto a que dificultaría la función del lubricante (Cabrera & Carrera, 2017).

Punto de acidez

El punto de acidez es correspondido a número de hidróxidos potásico, esto a que son elementos muy importantes para neutralizar los ácidos existentes que abra en 1g de aceite, este fenómeno se encuentra por la alteración causada por aditivos, esta acides debe ser mínima debido

a que puede ocasionar afectaciones a la superficie de los elementos que se encuentren en contacto (Barrera, 2021).

Viscosidad

Terradillos et al. (2014) definen que la viscosidad es un parámetro físico importante que define a un aceite, puesto a que cuando existan fenómenos como la oxidación, nitración, contaminación y periodos de cambio extendidos, provocara que la viscosidad aumente y exista una considerable pérdida de aditivos que vienen en el aceite lubricante, es por eso que es recomendado realizar un respectivo cambio de aceite puesto a que un aceite nuevo tendrá mejor índice de viscosidad y nuevos tipos de aditivos.

Densidad

Burgio (2022) determina que la densidad es una relación entre el peso de un volumen, y que en los aceites lubricantes la relación es menor que la unidad (0.855 a 934) es por eso que el aceite es menos pesado que el agua por esa razón el aceite flota en ella.

Degradación Del Aceite Lubricante

El tiempo de duración del lubricante es muy importante para el vehículo, debido a que influye en la vida útil del motor. Es por ello, que al cumplir el ciclo de duración del lubricante este comenzará a perder sus propiedades físicas y químicas, y como consecuencia un desgaste de los elementos que provocará un mal funcionamiento de la máquina (Arteaga, Trias, Mendoza, et al., 2018).

La degradación del aceite depende directamente de la duración del uso del aceite, el tiempo del ciclo y las condiciones que se encuentra el motor del vehículo (Billiet, 1979).

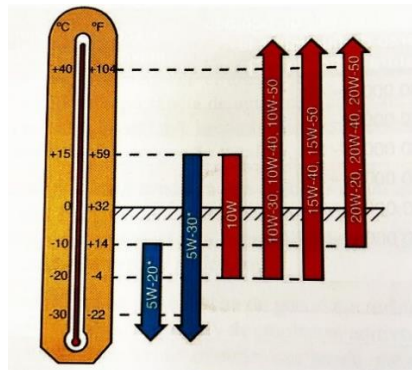
Factores Que Influyen En La Degradación Del Aceite Lubricante

Temperatura

Cabrera & Carrera (2017) definen que la temperatura es uno de los principales factores que influyen en la viscosidad debido a que va perdiendo sus propiedades al someterse a altas temperaturas, provocando que las moléculas de la viscosidad adquieran mayor movilidad y esto a su vez ara que la cohesión disminuya. La Figura 7 indica la temperatura máxima y mínima que soporta un lubricante.

Figura 7

Temperatura máxima y mínima del lubricante



Nota. Tomado de *Motores*, (p. 204), D. Gonzáles, 2018, Paraninfo.

Sustancias Extrañas

Entre los factores que también influye en la lubricación son las sustancias extrañas que se presentan provocando que se modifique sus características y estas se pueden presentar de manera permanente y progresiva. Como se ha definido la viscosidad de un lubricante se puede deteriorar por la baja calidad o por la disminución de los aditivos también por la acumulación de contaminantes y la oxidación provocando que el lubricante pierda la viscosidad (Cabrera & Carrera, 2017).

Oxidación

La oxidación en un aceite lubricante se presenta cuando existe oxígeno, puesto a que se reactiva con el aceite base que tiene el lubricante, por lo que se producirá la elaboración de resinas, provocando películas de lubricación finas o lacas en las superficies, ya que, al existir oxidación, las moléculas de hidrocarburos generaran alteración y formación de polímeros, ácidos y barnices por los que afectara las propiedades de desempeño en el aceite (Arteaga, Trias, & Mendoza, 2018).

Exceso de mezcla

Al ser un sistema de carburador existe la posibilidad de que la regulación de la mezcla no sea correcta y que exista un exceso de combustible, lo que provocaría diferentes factores como emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono y que una gran parte del combustible descienda al cárter, diluyendo las propiedades del aceite provocando que el cambio sea con más frecuencia (Orovio, 2010).

Empobrecimiento de la mezcla

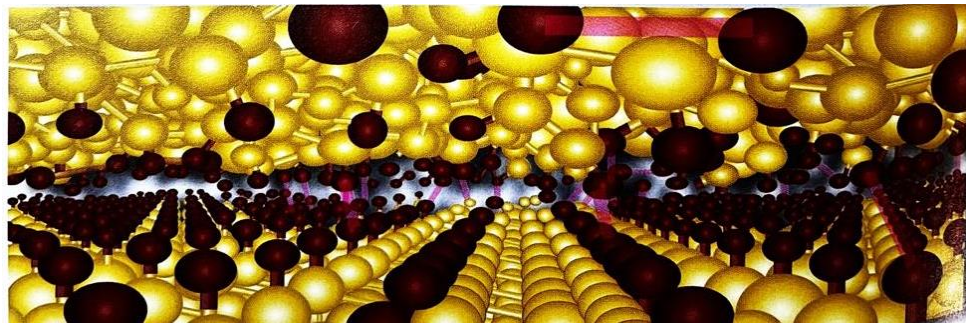
En el sistema a carburador al existir empobrecimiento de la mezcla se expondrá a factores que pueden menorar la vida útil del motor, esto debido a que al existir menor cantidad de combustible provocara que la quema dentro de la cámara de combustión no sea el adecuado lo que provocara emisiones contaminantes como el óxido nitrógeno y altas temperaturas en el motor, a su vez provocará que el lubricante tiendan a perder su viscosidad por lo que está sometido a temperaturas muy elevadas (Orovio, 2010).

Aditivos detergentes y dispersantes

Los lubricantes modernos se caracterizan porque contienen cada vez, pequeñas cantidades de sustancias químicas como los aditivos como se muestra en la Figura 8. Su funcionamiento ayuda a que el índice de viscosidad aumente, así como también la resistencia a la oxidación. De esta manera, ayuda al incremento de la resistencia de la película del lubricante, el cambio del color y a bajar el punto de congelación. Como punto importante hay que tener muy en cuenta que estos compuestos químicos pueden producir efectos adversos, si no se los utiliza correctamente provocando que se genere daños graves en el mecanismo que se desee lubricar (Burgio, 2013).

Figura 8

Sustancias químicas en el índice de viscosidad



Nota. Tomado de Manual de Reparación de Automóviles, por N. Rondón et al., 2012, Lexus

Capítulo 2: Proceso De Muestreo

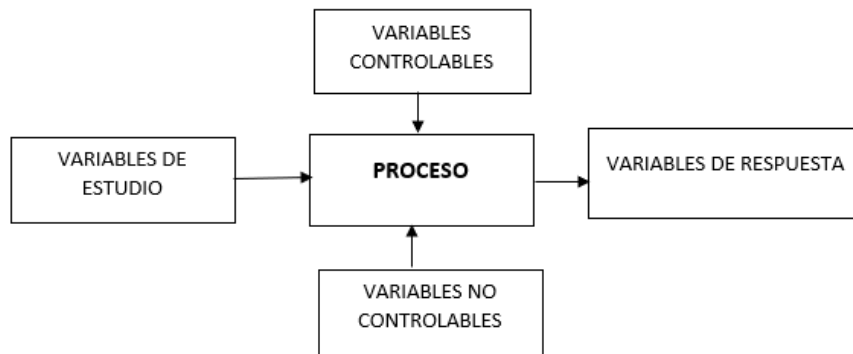
En este capítulo se detallarán las variables que intervinieron en la experimentación, el proceso considerado para la recolección de muestras del aceite lubricante, así como también los equipos de laboratorio y las herramientas necesarias para efectuar dicho procedimiento.

Variables

Los factores que intervienen en el funcionamiento del motor se denominan: variables de entrada, variables controlables, no controlables y variables de respuesta como se observa en la Figura 9.

Figura 9

Factores de interferencia



Variables de Entrada

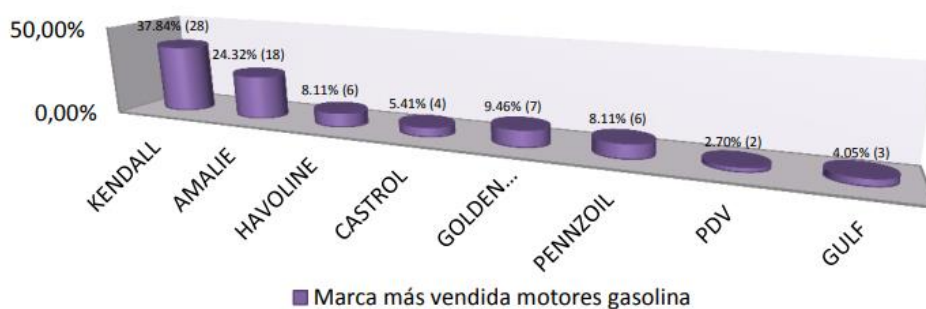
Denominadas también como factores de entrada son variables que condicionan estrictamente a las variables de respuesta. Por tal motivo, es fundamental seleccionar variables de estudio que se caractericen por ser de fácil manejo (Gutiérrez & De la Vara, 2007).

Aceite Kendall 20W-50.

Toala (218) determina que el lubricante Kendall es uno de los aceites más utilizados en el mercado automotriz ecuatoriano, (Figura 10), tanto para vehículos pesados como livianos, debido a que cumple con diferentes tipos de desempeño como el rendimiento, la eficacia de lubricación y sus propiedades químicas.

Figura 10

Marcas más vendidas de aceites lubricantes para motor a gasolina en el Ecuador



Nota. Tomado del Estudio de la Participación de Mercado de Lubricantes en los Lubriservicios y Tecnicentros de la Parroquia Tarqui en la Ciudad de Guayaquil Para la Introducción del Aceite de Motor Holandés Euro (p. 75), J. Plaza, 2018, Tesis de grado.

En base este antecedente, se determinó que el aceite más adecuado para este proyecto de investigación es el aceite Kendal con un grado SAE 20W50, (Figura 11), que recomienda el fabricante y que cuenta con las especificaciones técnicas detalladas en la Tabla 2.

Figura 11

Aceite Kendall 20W-50



Tabla 2

Especificaciones técnicas del lubricante

Grado SAE	20W50
Gravedad específica @ 60 °F	0.883
Densidad lb/gal @ 60° F	7.35
Punto de inflamación °C	230
Punto de Fluidez °F	-30
cSt @40 °C	160
cSt @ 100 °C	19.4

Nota. Adaptado del Estudio de la Participación de Mercado de Lubricantes en los Lubriservicios y Tecnicentros de la Parroquia Tarqui en la Ciudad de Guayaquil Para la Introducción del Aceite de Motor Holandés Euro, J. Plaza, 2018, Tesis de Grado.

Mezcla y Cuantificación.

Para analizar el aceite Kendall 20W50 se establecen tres diferentes tipos de mezcla: *estequiométrica, rica y pobre*, (Tabla 3) las mismas que se cuantifican mecánicamente

mediante la manipulación de la aguja de regulación de combustible (Figura 12) y a través del analizador de gases con los resultados del factor lambda.

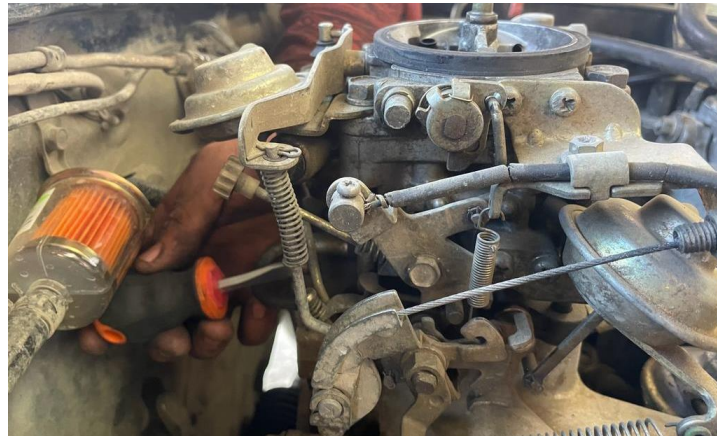
Tabla 3

Regulación de la mezcla

Variables de estudio	Símbolo	Unidad de medida
Mezcla Estequiométrica	$\lambda = 1$	$[m/m]$
Mezcla rica	$\lambda < 1$	$[m/m]$
Mezcla pobre	$\lambda > 1$	$[m/m]$

Figura 12

Regulación de la mezcla



Para generar una mezcla rica se gira la aguja de regulación de combustible hacia la izquierda y el analizador de gases deberá mostrar un valor de factor lambda menor a 1. Girando la misma ajuga de regulación de combustible hacia la derecha y con un valor de lambda mayor a 1 se logra cuantificar una dosificación pobre. De la misma manera, para obtener una mezcla estequiométrica se debe girar la aguja de regulación hacia la derecha o izquierda, dependiendo

en la dosificación que se encuentre y mediante el analizador de gases establecer un factor lambda igual a 1, como indica la Figura 13.

Figura 13

Resultados del analizador de gases



Nota. El analizador de gases indica el nivel de los gases contaminantes, así como también el valor del factor lambda y el radio de aire y combustible.

Variables Controlables

Como su propio nombre lo indica, estas variables son factores que podrían afectar el proceso y por tal motivo el experimentador puede intervenir, es decir, establecer un punto o nivel de trabajo con la finalidad de que su interferencia sea mínima o incluso nula en las variables de respuesta. En la tabla 4 se encuentran definidas las variables controlables.

Tabla 4

Variables controlables

Variables controlables	Símbolo	Valor	Unidad
Temperatura del refrigerante	<i>Tref</i>	90	°C
Tipo de combustible		Ecopais	

Temperatura del lubricante	T_{ref}	95	°C
Adelanto	α	10	°

Variables No controlables

Denominadas también como variables de ruido, son factores imposibles de controlar para el experimentador. La Tabla 5 detalla las principales variables a tomar en consideración.

Tabla 5

Variables no Controlables

Variables no controlables (Cuenca)	Símbolo	Valor	Unidad
Presión atmosférica	P	29.86	inHg
Altura	h	2560	m
Temperatura	T_{ref}	20	°C

Variables de Respuesta

Estas variables miden el desempeño del proceso, en base a la interacción de las variables de entrada. Al tratarse de un proyecto de análisis de aceites lubricantes las variables de respuesta se indican en la Tabla 6.

Tabla 6

Variables de respuesta

Variables de Respuesta	Símbolo	Unidad
-------------------------------	----------------	---------------

Gases contaminantes	-	Ppm; %
Conteo de partículas	ppm	ppm

Frecuencia de Muestreo

Para un correcto estudio de muestreo se realiza una toma de muestras cada cierto periodo con el fin de poder determinar el tiempo de degradación del aceite, la Tabla 7 detalla cada qué periodo de kilometraje se procedió a tomar una muestra de aceite lubricante. Valenzuela et al. (2019) indican que para obtener una muestra del aceite se recomienda que la extracción cada 100 horas por lo que se determinó un equivalente a 500 km por cada muestra y de esa manera poder establecer un parámetro para obtener un análisis preciso.

Tabla 7

Muestreo de aceite según el kilometraje

Mezcla	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	CABIO DE ACEITE
	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	Muestra	
Estequiométrica ($\lambda=1$)	500 km	1000 km	1500 km	2000 km	2500 km	3000 km	
Rica ($\lambda < 1$)	500 km	1000 km	1500 km	2000 km	2500 km	3000 km	
Pobre ($\lambda > 1$)	500 km	1000 km	1500 km	2000 km	2500 km	3000 km	

Vehículo de experimentación

El vehículo utilizado para la experimentación es un automóvil marca Mitsubishi modelo Lancer glx, Figura 14.

Figura 14

Vehículo de experimentación



Los datos técnicos del vehículo se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8

Datos técnicos del vehículo Mitsubishi Lancer GLX

Marca	Mitsubishi
Modelo	<i>Lancer Glx</i>
Tipo	Sedan
Motor	<i>1.5 l</i>
Potencia máxima	<i>74 hp @ 5500 rpm</i>
Torque	<i>115 Nm @ 4000 rpm</i>
Cilindrada	<i>1468 cm³</i>
Numero de cilindros	<i>4</i>
Relación de compresión	<i>9.5:1</i>
Sistema de combustible	<i>Carburador</i>
Distribución	<i>SOHC</i>

Válvulas por cilindro	2
--------------------------	---

Nota. Tomado del Manual vehículo

Puesta A Punto del Motor

Para el procedimiento de experimentación, el vehículo debe encontrarse en perfectas condiciones para que no presente fallas que puedan afectar a las variables de respuesta o en el tiempo estimado para la culminación del proyecto. Por tal motivo, se plantea una puesta a punto inicial, que incluye las siguientes intervenciones:

- Un ABC motor que incluye cambio de filtro de aire y combustible, bujías, cables de bujías.
- Verificación del avance de encendido (10°)
- Regulación de la aguja del combustible mediante un vacuómetro
- Verificación visual de presencia de fugas de aceite y refrigerante en el motor.

Cabe recalcar que este procedimiento se realiza en cada cambio de aceite, para las tres diferentes regulaciones de la mezcla. En la Figura 15 se observa los elementos que intervienen en este procedimiento.

Figura 15

Puesta a punto del vehículo de experimentación



Elementos Para La Sustracción De La Muestra Del Aceite

Como se estableció anteriormente, la toma de cada muestra de aceite se realizó en un periodo de 500 km y la herramienta utilizada se observan en la Figura 16. Para la sustracción del aceite se determinó que el lugar más accesible es el orificio donde se inserta la varilla de medición del aceite. Gracias al sistema de una bomba de vacío, el procedimiento de muestreo es relativamente sencillo.

Figura 16

Bomba de vacío



Recipiente De Almacenamiento

Después de la extracción del aceite es necesario almacenarlo en un recipiente de plástico que se encuentre sumamente limpio para que en los ensayos realizados en el laboratorio no entregue resultados alterados. En la Figura 17 se muestra el recipiente utilizado que tiene una capacidad de llenado de 10ml.

Figura 17

Recipiente de almacenamiento



Etiqueta De Identificación

Para tener un mejor control de las muestras del aceite se empleó la siguiente etiqueta que cuenta con las siguientes características detalladas en la Tabla 9.

Tabla 9

Etiqueta de la muestra

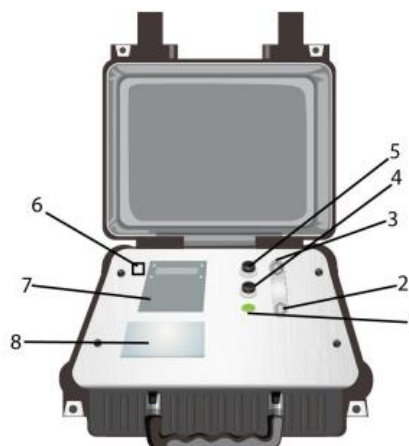
Muestra #
Kilometraje del vehículo
Kilometraje de la muestra
Fecha
Tipo de mezcla
Observación

Contador De Partículas Yateks YJS 150

Este equipo muestra la cantidad y el tamaño de partículas sólidas presentes en el aceite lubricante. Es ampliamente usado en la industria automotriz para determinar la contaminación del aceite lubricante (Shenzhen Yateks Optical Electronic Technology Co, 2020). En la figura (2.6) se observa la composición de este equipo y sus interfaces.

Figura 18

Contador de Partículas Yateks YJS 150



Nota. Tomado de *Análisis de la Influencia del Sobrecalentamiento del Motor de Combustión Interna en la Degradación del Aceite Lubricante* (p. 30), A. Galvez & D. Paucar, 2020, Tesis de Grado.

1. Interruptor de encendido y apagado
2. Puerto de salida del fluido
3. Puerto de entrada del fluido
4. Puerto COM
5. Interfaz de corriente directa 24V
6. Entrada USB
7. Impresora
8. Pantalla táctil

Datos Técnicos

Este equipo de contador de partículas se caracteriza por ser muy preciso y eficaz al momento de realizar su trabajo, en la Tabla 10 se detallan los aspectos técnicos de este equipo.

Tabla 10

Aspectos Técnicos del equipo Yateks YJS 150

Rango de medición	1-400 μm
Sensibilidad	1 μm (ISO4402) o 4 μm (C) (ISO11171)
Rango de fluidez para limpieza	5-35mL/min

Volumen para limpieza	0 – 90 mL con intervalo de 1 mL
Velocidad de detección	20mL/min
Precisión de conteo	±10 %
Viscosidad máxima de muestra	100 cSt

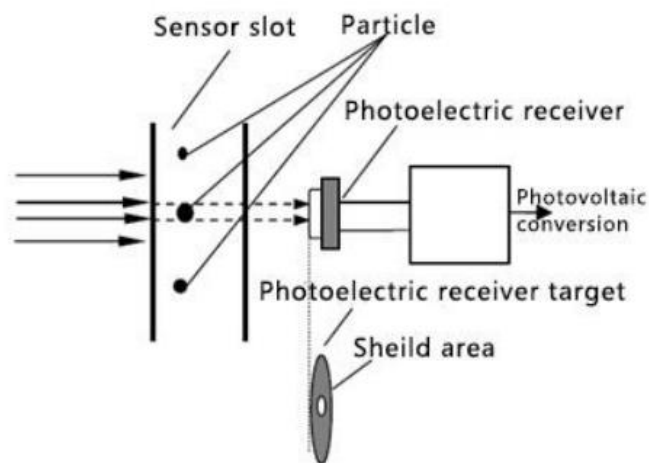
Nota. Adaptado del Manual del equipo

Principio De Funcionamiento

El contador de partículas YJS-150 funciona con un principio de extinción o bloqueo de luz (Figura 19) rigiéndose a la normativa ISO4402/ISO11171. Se caracteriza por la detección inmediata, precisión alta, excelente repetibilidad y una robusta anti-interferencia (Shenzhen Yateks Optical Electronic Technology Co, 2020).

Figura 19

Principio de extinción de luz



Nota. Tomado de *YJS-150 Particle Counter User's Manual* (p. 4), por Shenzhen Yateks Optical Electronic Technology Co, 2020.

n-Heptano hplc

El heptano (Figura 20), es un hidrocarburo lineal con un índice de cetano de 56. Se caracteriza por ser un disolvente ambientalmente preferible y una alternativa más ecológica al hexano para la purificación cromatográfica (Capello et al., 2007). Al ser un disolvente apolar ayudara al conteo de partículas del aceite lubricante, ya que es capaz de disolver sustancias no solubles.

Figura 20

Frasco de n-Heptano hplc



Procesamiento De Muestras

El procedimiento para un análisis por conteo de partículas es el siguiente:

- Utilizar el debido equipo de protección conforme al reglamento de la universidad: mandil, guantes, gafas, mascarilla.
- Realizar un flushing del equipo para asegurarse que se encuentre limpio.

- En un tubo de ensayo disolver la mezcla, en un ratio de 20:1. 20 partes de solvente por cada parte de aceite usado.
- Encender el contador de partículas, establecer los parámetros deseados para a medición y presionar test.
- El equipo procederá a realizar 3 conteos y establecer un promedio de los datos obtenidos.
- Realizar la limpieza de los tubos de ensayo utilizados y proceder a realizar el análisis de la siguiente muestra.

Se procesa un total de 18 muestras, con 3 repeticiones en cada una de ellas para un análisis más exacto.

Capítulo 3: Análisis de Resultados, Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se lleva a cabo el análisis de los resultados que se obtuvieron de las muestras de aceite en base a las diferentes mezclas (estequiométrica, rica y pobre) y kilometrajes establecidos.

La metodología a usar en este análisis son las técnicas de límites estadísticos y los diagramas de cajas y bigotes

Límites Estadísticos

Los límites estadísticos son valores superiores e inferiores que permiten calcular una ubicación de cada dato (media, mediana, varianza) simplificando valores del grupo de datos (Capa, 2015). Mediante la obtención de datos se podrá realizar desviaciones promedias estableciendo rangos máximos y mínimos, así como puntos y línea de tendencia para finalmente determinar el índice de contaminación que existe en el aceite lubricante.

Determinación de límite

La determinación de límites es esencial para comprender el comportamiento de una función, los cuales se establecen en base a un valor determinado y mediante la fórmula de la desviación estándar que se detalla en la ecuación 28.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (28)$$

Donde

σ : Desviación Estándar

x : Dato Obtenido

\bar{x} : Media

Con los valores de la desviación estándar se establecen los límites que se presentan a continuación.

Límite Normal

Este límite hace referencia al valor promedio de la agrupación de datos a analizar. En este caso indican que el aceite lubricante se sitúa en una progresión de contaminación normal con respecto al kilometraje.

Límite de Precaución

Este límite señala advertencia, es decir que el nivel de contaminación del aceite lubricante se encuentra en una situación fuera de lo normal. Todos los valores cerca de este rango indican que se debe considerar una acción preventiva o correctiva para no llegar a un nivel crítico. Se determina mediante la ecuación 29.

$$\text{Límite de precaución} = \text{Valor Promedio} + \text{Desviación Estandar} \quad (29)$$

Límite Crítico

Este límite establece una acción correctiva de urgencia, ya que todos los valores cercanos a este rango han sobrepasado el límite de precaución. Es decir, el nivel de contaminación en el aceite es excesiva y requiere un mantenimiento correctivo lo más pronto posible. Se determina mediante la ecuación 30.

$$\text{Límite Crítico} = \text{Valor Promedio} + 2(\text{Desviación Estandar}) \quad (30)$$

En la Tabla 11 se observan los valores promedios y desviaciones estándar del tamaño de partículas que se tomaron en consideración en base a los diferentes tipos de mezclas analizados, así como también los valores de los límites calculados.

Tabla 11

Cálculos realizados

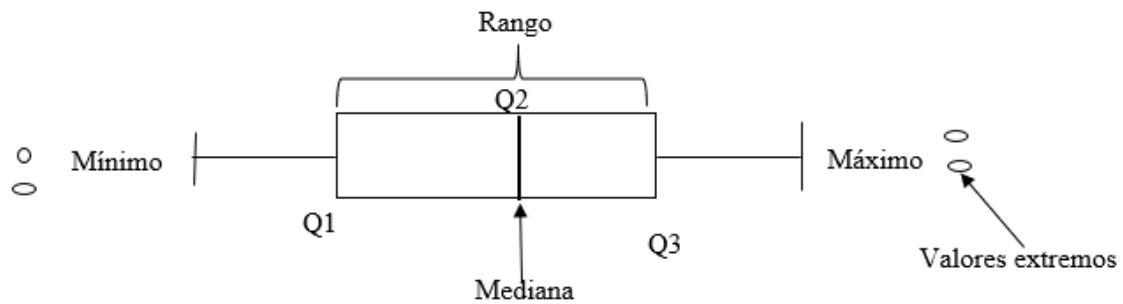
Tamaño de la Partícula	1 um	5 um	10 um	15 um	20 um	30 um	50 um
Desviación Estándar	44964,57	18789.73	3530.13	1576.7	940.59	136.59	6.87
Límites							
Normal	197363,76	35721,67	4965,18	2303,94	1144,96	181,49	7.34
Precaución	24232,33	54511,4	8495,32	3880,64	2085,56	318,09	14,21
Crítico	287292,90	73301,13	12025,45	5457,34	3026,15	454,68	21,08

Caja y bigotes (box plot)

Es un gráfico que permite representar una distribución de datos más ordenada y sintetizada en donde se puede observar la dispersión y simetría. Se usan principalmente para analizar uno o varios conjuntos de datos gráficamente entre si (Ríos & Quintana, 2020). Se pueden representar de manera vertical como horizontal. En la Figura 21 se indican los elementos que conforman este gráfico.

Figura 21

Esquema del diagrama de caja y bigotes



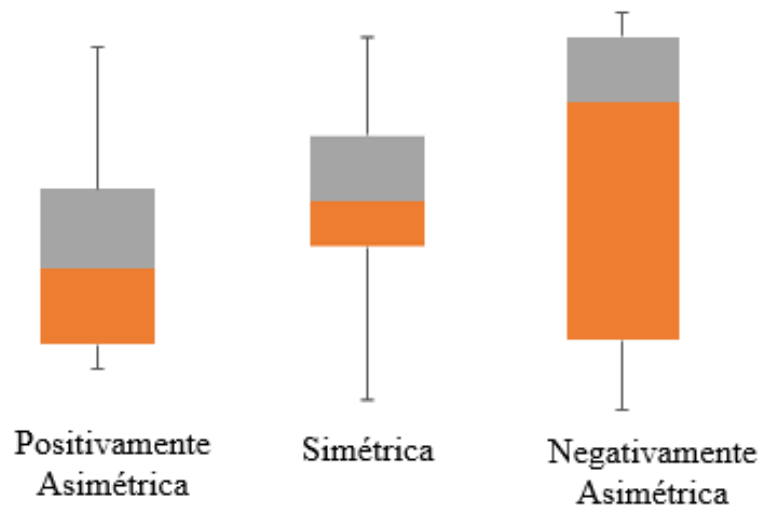
Nota. Adaptado de *Diagrama Boxplot* [fotografía], por Proyectos Gestión Conocimiento, 2022, (<https://www.pgconocimiento.com/diagrama-boxplot/>)

- **Valores mínimos:** Valor más pequeño del conjunto de datos, situados al inicio de la línea que se extiende desde la caja (bigote).
- **Valores máximos:** Valor más grande del conjunto de datos, situados al final del bigote.
- **Cuartiles (Q1, Q2, Q3):** División de los datos en porcentajes iguales.
- **Mediana:** Valor intermedio del conjunto de datos.
- **Rango:** Indica la mitad media del conjunto de datos.
- **Valores extremos o atípicos:** Valores que se extienden más allá de los bigotes que indican una superación de la variancia esperada.

En el diagrama de caja y bigotes se pueden presentar tres diferentes tipos de muestras como se indica en la Figura 22, que señalan lo siguiente:

Figura 22

Tipos de muestras de un esquema de caja y bigotes



- **Muestra simétrica:** Indica que los valores divididos en los diferentes cuartiles se encuentran proporcionalmente dispersos en cantidades iguales.
- **Muestra Positivamente Asimétrica:** Señalan que los valores de mayor tamaño se encuentran más dispersos que los valores de menor tamaño.
- **Muestra Negativamente Asimétrica:** Demuestra que las cantidades más pequeñas se localizan en mayor dispersión que las más grandes.

Análisis de gráficas y diagramas

Con los datos obtenidos del contador de partículas, debidamente tabulados y mediante las técnicas expuestas anteriormente se pudo obtener gráficas y diagramas en donde se observa estado de contaminación del aceite Kendal 20W- 50 conforme al kilometraje recorrido en los diferentes tipos de mezclas.

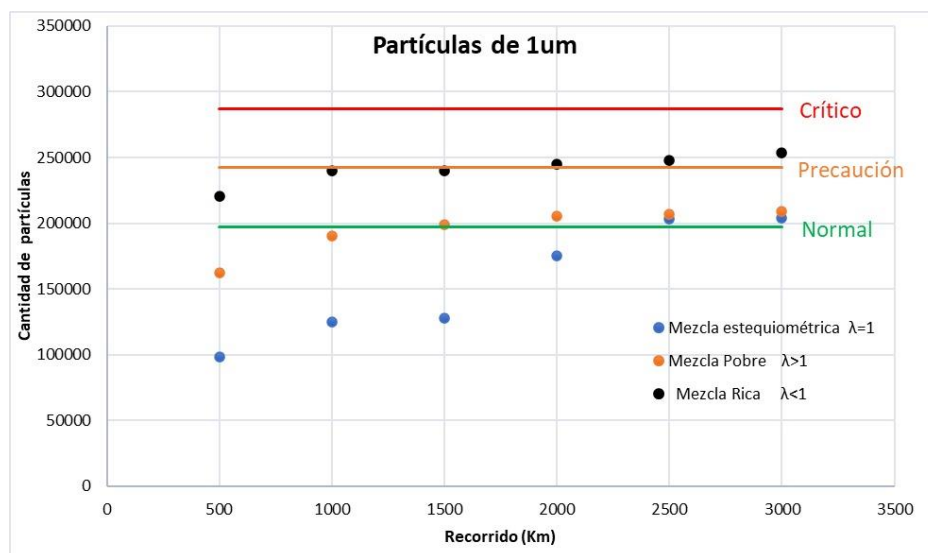
Partículas de 1 um

En la Figura 23 se observa el índice de contaminación de las partículas de 1 um en base a los diferentes tipos de mezcla. Se identifican los niveles de contaminación y se observa que en la mezcla estequiométrica al igual que la pobre la cantidad de partículas contaminadas se

encuentra dentro del límite normal a lo largo del recorrido que se expuso al lubricante. No obstante, en la mezcla rica a partir de los 2000 km de recorrido el gráfico indica que la contaminación del aceite sobrepasa el límite de advertencia por lo que se deberá tomar medidas necesarias para evitar que el aceite llegue a un nivel crítico y de tal manera evitar futuros daños.

Figura 23

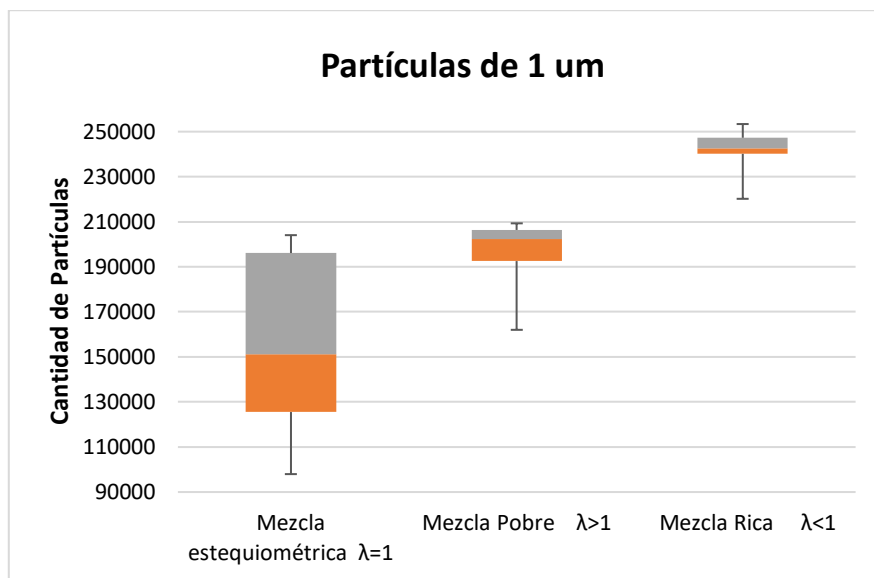
Dispersión de puntos (1 μ m)



En la Figura 24, se observa la agrupación de partículas contaminantes en los tres diferentes tipos de mezcla. De esta gráfica, se observa la dispersión de partículas contaminantes en la mezcla estequiométrica, que empiezan de una cantidad muy baja y a lo largo del kilometraje establecido incrementa una cantidad considerable. A diferencia de la mezcla rica que la cantidad de partículas se concentran en un nivel muy alto. De esta grafica se puede visualizar también que en ambos tipos de mezcla (estequiométrica y pobre) comparten una cierta cantidad de partículas contaminantes lo cual nos indica que independientemente del tipo de mezcla, sea estequiométrica o pobre generan una cantidad similar de partículas.

Figura 24

Diagrama de caja y bigotes (1 μ m)



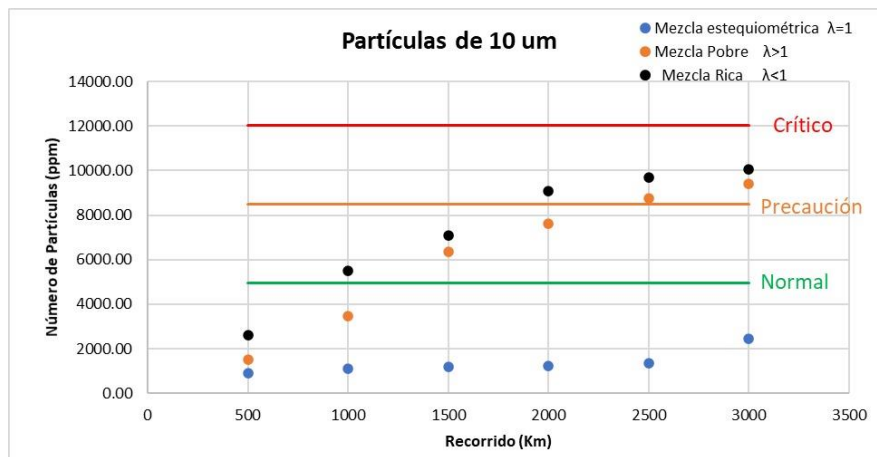
Partículas de 10 μ m

A diferencia del análisis de las partículas de 1 μ m, en la Figura 25 se observa que tanto en la mezcla rica como en la pobre el rango de contaminación empieza a acercarse al límite de precaución desde el kilómetro 2500. Sin embargo, en la mezcla rica la cantidad de partículas contaminantes sobrepasa este límite de precaución acercándose a un nivel crítico mientras que en la mezcla pobre se mantiene la contaminación en un índice normal a lo largo del kilometraje recorrido. En ambos casos se deberá tomar una acción rápida a partir de los 2500 km de recorrido.

Por otra parte, el índice de contaminación en una mezcla estequiométrica se encuentra por debajo del límite normal, demostrándonos una contaminación regular que se tenía previsto que ocurra.

Figura 25

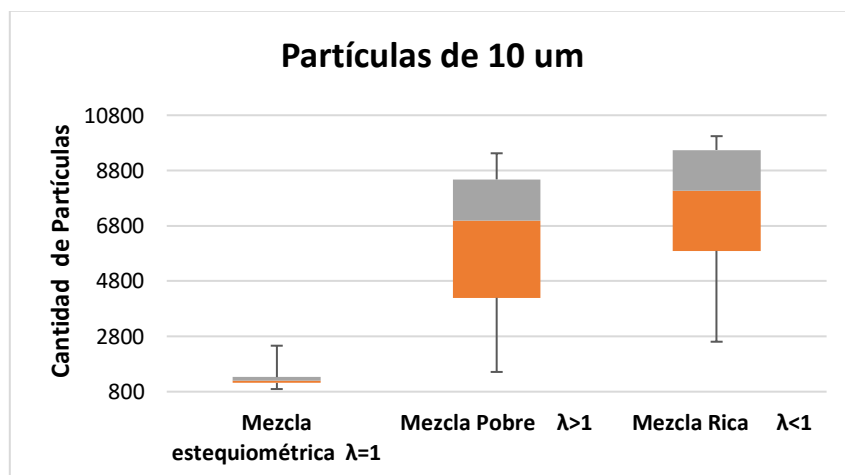
Dispersión de puntos (10 um)



La Figura 26 indica que las proporciones de contaminación en una mezcla estequiométrica se concentran en valores inferiores a los 2800 a lo largo del kilometraje recorrido, un valor mínimo en comparación a las mezclas restante. Sin embargo, en las mezclas rica y pobre el índice de contaminación se concentra a mayor escala con valores superiores a las 90000 partículas. Además, el rango de ambas distribuciones es amplio y parecidos indicando que a lo largo del kilometraje recorrido se espera que en ambas mezclas se dé una acumulación considerable de partículas contaminantes en el aceite.

Figura 26

Diagrama de caja y bigotes (10 um)

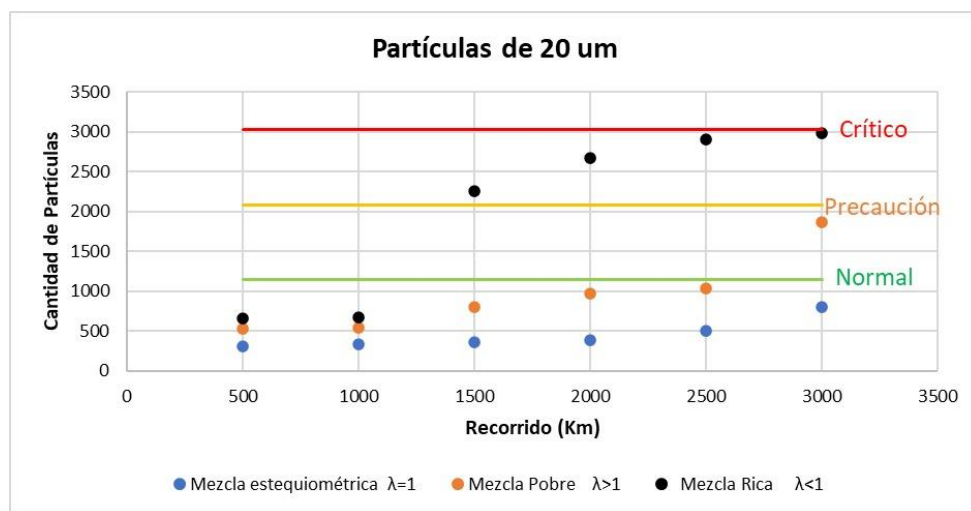


Partículas de 20 um

Los resultados obtenidos en las partículas de 20 um señalan que a partir de los 1500 kilómetros de recorrido el incremento de partículas contaminantes rodea el límite de precaución llegando al límite crítico a los 3000 kilómetros. No obstante, las mezclas restantes (estequiométrica y pobre) no sobrepasan incluso el límite de precaución en el kilometraje que el fabricante del vehículo recomienda que se haga un mantenimiento preventivo.

Figura 27

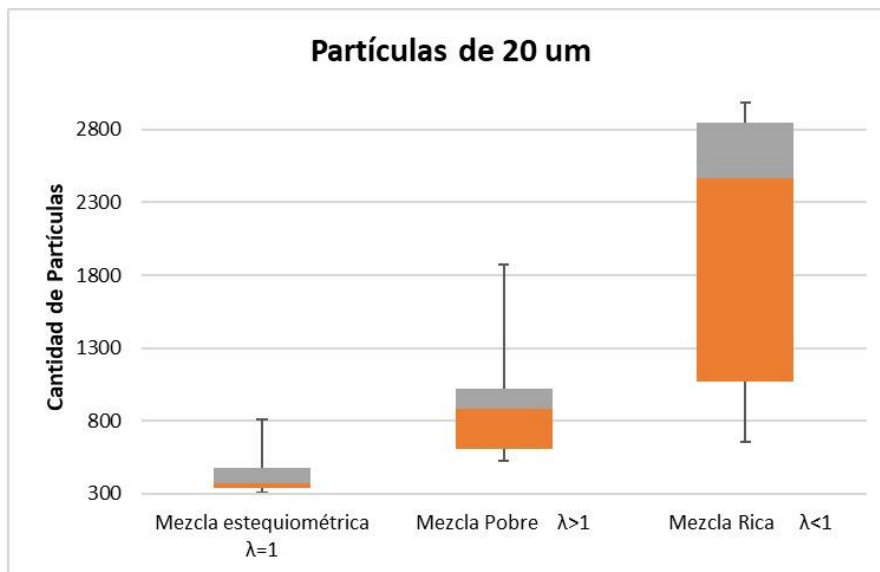
Dispersión de puntos (20 um)



En la Figura 28 se visualiza de manera clara la diferencia de rangos que existe en los diferentes tipos de mezcla, constatando que el índice de contaminación en la mezcla rica es muy grande. Además, se observa que las mezcla pobre y rica comparten una cantidad similar de valores mínimos de partículas, sin embargo, los valores máximos son muy diferentes afirmando que, a lo largo del recorrido en una mezcla rica el incremento de contaminación será el doble que en una mezcla pobre y en comparación de una mezcla estequiométrica será 5 veces mayor.

Figura 28

Diagrama de caja y bigotes (20 um)

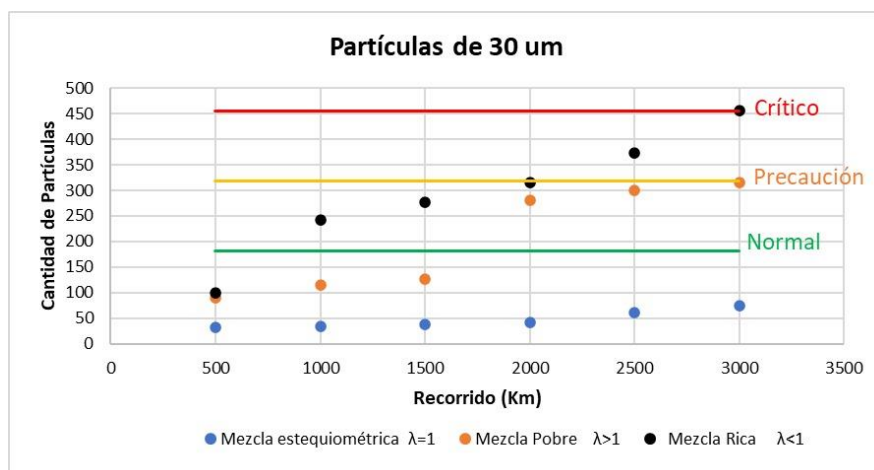


Partículas de 30 um

En la Figura 29 al igual que en las otras graficas en la mezcla estequiométrica la variación de partículas contaminantes es leve, por debajo del límite normal en los 3000 km de recorrido realizado a diferencia de las mezclas pobre y rica que antes de cumplir los 2000 kilómetros de recorrido circundan el límite de precaución e incluso llegando la mezcla rica al límite crítico ya en los 3000 kilómetros de ruta.

Figura 29

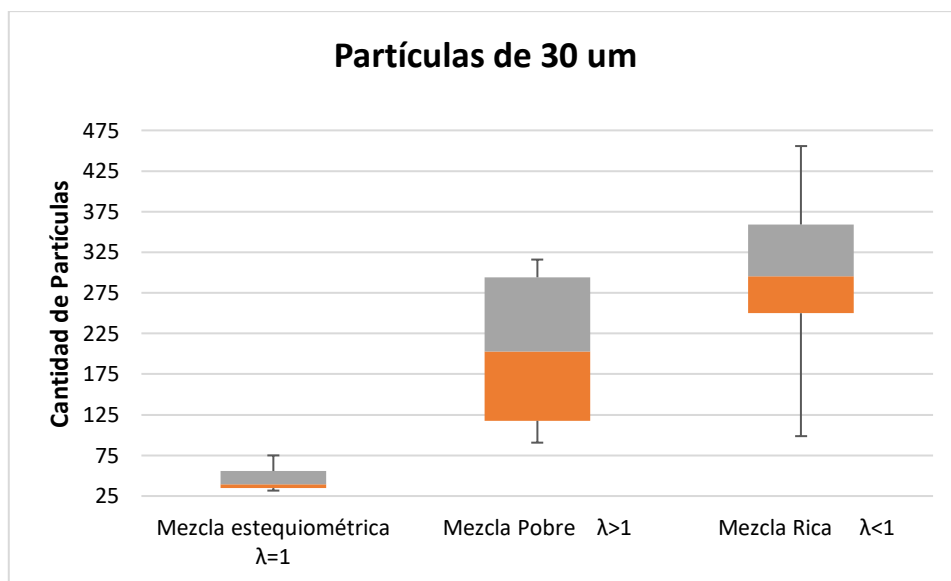
Dispersión de puntos (30 um)



En La figura 30 se observa algo similar que, en los diagramas anteriores, donde el rango de contaminación de partículas en una mezcla estequiométrica es muy pequeño en comparación a las diferentes mezclas. También los valores mínimos son similares, rodeando la cantidad de 90 partículas contaminante. Los valores máximos cambian, ya que como se ha visto en todas las gráficas la mezcla estequiométrica acumula una cantidad mayor de partículas contaminantes en los 3000 kilómetros de recorrido.

Figura 30

Diagrama de caja y bigotes (30 um)

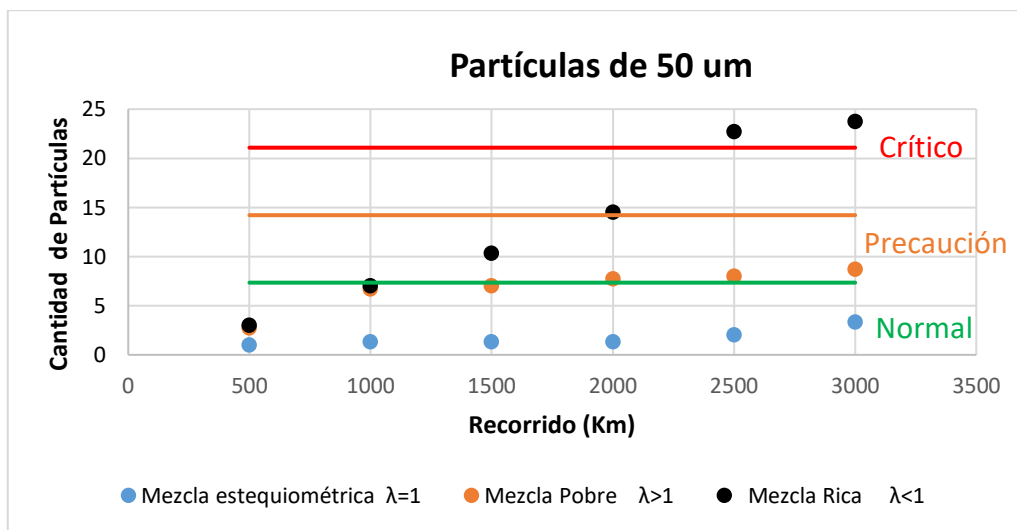


Partículas de 50 um

El la Figura 31 el índice de partículas contaminantes para una mezcla estequiométrica y pobre rodea el límite normal en los 3000 kilómetros de recorrido. Sin embargo, como se ha dado en todas los graficas precedentes la cantidad de partículas en una mezcla rica supera el límite de precaución, en este caso a los 2000 kilómetros de recorrido. Además, se observa que a partir de los 2500 kilómetros esta mezcla ha sobrepasado el límite crítico.

Figura 31

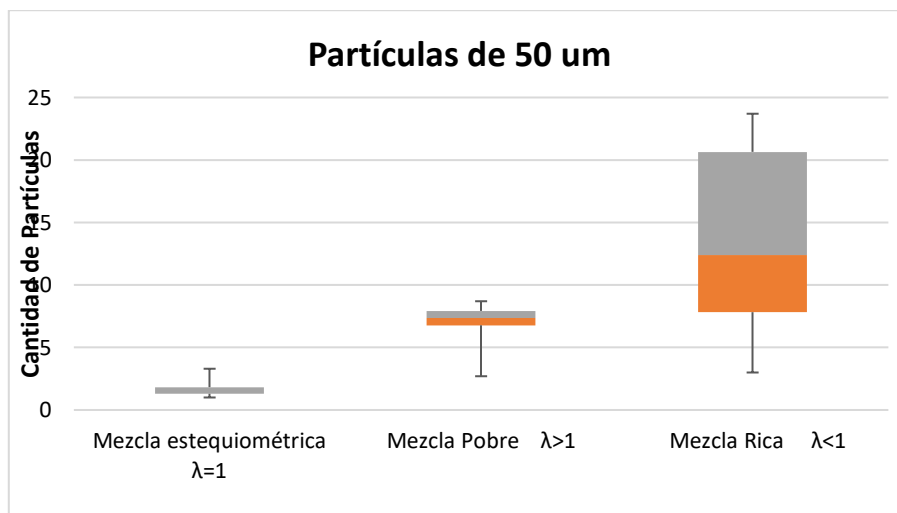
Dispersión de puntos (30 um)



Las partículas de 50 um al ser de mucho mayor tamaño que las de 1 um se concentran en menor proporción. Como se observa en la Figura 32 que la cantidad de partículas contaminantes no excede el límite de 25. Pese a eso, el rango de concentración de partículas en una mezcla estequiométrica y pobre se encuentran por debajo de la media de la mezcla rica siguiendo el mismo patrón que las partículas de menor tamaño, en donde la mayor contaminación de partículas se da siempre en la mezcla rica. Cabe recalcar que las partículas menores tamaño (1 um, 10 um, 20um y 30 um) atraviesan la película del aceite lubricante y no generarían danos en si en los elementos que se encuentran en fricción del motor. Sin embargo, partículas de este tamaño (50um) no atraviesan esta película por lo que sería muy riesgoso que los elementos del motor se lubriquen con este aceite.

Figura 32

Diagrama de caja y bigotes (50 um)



Conclusiones

Los vehículos de combustión interna con sistema de alimentación a carburación existen desde 1893, con la invención de los sistemas a inyección controlados electrónicamente se dejaron de fabricar debido a que este sistema es más preciso en el control de la dosificación aire- combustible a diferencia del anterior que realiza este trabajo de manera mecánica. A pesar de esta nueva tecnología hoy en día aún existen una cantidad considerable de vehículos a carburación circulando en las calles, por tal motivo se realizó esta investigación.

Independientemente del sistema de alimentación que posea un vehículo, mantener la correcta regulación de la mezcla es vital para reducir el exceso de combustible, disminuir las emisiones contaminantes, evitar danos en los elementos del motor y mejorar el desempeño del mismo.

Uno de los elementos perjudicados por una mala regulación de la mezcla es el aceite lubricante debido a que un incorrecto control de la dosificación provocaría daños en su composición, contaminación y disminuiría su vida útil.

Lo definido en el capítulo 2 afirma que en el aceite lubricante Kendal 20w-50 expuesto a mezcla rica genera una cantidad excesiva de partículas contaminantes debido a los residuos generados por la mala combustión sobrepasando los límites de precaución e incluso rodeando los límites críticos del estado de salud del lubricante. Partículas de menor tamaño (1 um y 10 um) generaron una mayor proporción de residuos contaminantes sobrepasando cantidades de 100000 partículas, sin embargo, según el análisis realizado, la contaminación que estas partículas ocasionan, no son extremadamente perjudiciales, ya que rodean un límite de precaución, pero indican un estado de alerta. A diferencia de las partículas de (20 um y 30 um) que se mantienen por debajo de la cantidad de 3000. No obstante, el límite de contaminación se acerca a un estado crítico, señalando una acción urgente a tomar. Las partículas de 50 um se encuentran en una cantidad muy leve, pero son muy nocivas para el lubricante debido a que su gran tamaño no atraviesa la película del lubricante. Además, el índice de contaminación supera el límite crítico indicando una acción correctiva urgente. Si un vehículo, se encuentra con una mezcla de este tipo es necesario realizar el mantenimiento (cambio de aceite) antes de los 2500 kilómetros hasta realizar la correcta regulación de la mezcla.

Por otra parte, según el análisis realizado se comprobó que una mezcla pobre genera menores cantidades de partículas contaminantes que la rica y según el seguimiento realizado su contaminación se encuentra entre un rango normal y de precaución. Partículas de (1um, 20 um, 30um y 50um) de tamaño se mantienen por debajo del límite de precaución cumplidos los 3000 km de recorrido a diferencia de las partículas de 10um de tamaño que sobrepasan el límite de precaución a los 2500 km. En base a esto, el aceite Kendal 20W-50 podría cumplir el ciclo de vida recomendado por el fabricante, sin embargo, no es recomendable que un vehículo trabaje así, ya que perjudicaría otros componentes del motor como el incremento de temperatura y la pérdida de potencia.

Finalmente, el aceite expuesto a una mezcla estequiométrica muestra una tendencia de contaminación normal cumplidos los 3000 kilómetros de recorrido lo cual se ve reflejado en todas las gráficas de los diferentes tamaños de partículas analizadas que indican que el índice de contaminación está por debajo del límite normal. Esto a su vez, ratifica la importancia de mantener un correcto control de la dosificación y el motivo de que los sistemas a inyección hayan sustituido al carburador.

Recomendaciones

- Revisar que el vehículo se encuentre con una correcta regulación de la mezcla de manera que el aceite lubricante cumpla el ciclo de vida útil establecido por el fabricante.
- Al momento de la regulación mezcla en un vehículo con sistema de carburación no solo confiarse de los resultados del analizador de gases sino también calibrar la aguja del combustible mediante un vacuómetro que no debe oscilar al momento de la prueba. De la misma manera, certificar la correcta regulación del adelanto al encendido según la región que se encuentre el vehículo y realizar el debido mantenimiento como indica el fabricante.
- No realizar ningún tipo de modificación en la mezcla como por ejemplo generar una mezcla rica con el fin de incrementar la potencia del motor ya que como se expuso anteriormente generara daños al aceite y demás elementos del motor.
- Al realizar el análisis del aceite tener en cuenta diferentes parámetros como la correcta calibración de la maquina contadora de partículas, contar con la indumentaria necesaria y seguir el protocolo de seguridad. Así como también, certificar que las muestras de aceite se conserven en un depósito limpio y finalmente que las cantidades de soluto (aceite lubricante) y solvente (n-heptano) estén en los niveles adecuados para obtener un resultado lo más preciso posible.

- Realizar un seguimiento del aceite Kendal 20W-50 en una mezcla pobre más allá de los 3000 kilómetros de recorrido ya que en ese periodo sobrepasaba el límite de precaución.
- Efectuar el mismo análisis con diferentes marcas y tipos de aceite y observar el nivel de contaminación que generan.



Bibliografía

- Almeida, M., Medida, I., Michelena, M., Pajarin, J., & Sanchez, E. (2001). Los motores de combustión interna son responsables de una parte considerable de las emisiones de sustancias tóxicas y contaminantes que llegan a la atmósfera. *Aerotécnica*, 65–69.
https://www.academia.edu/50337644/Los_motores_de_combusti%C3%B3n_interna_son_responsables_de_una_parte_considerable_de_las_emisiones_de_sustancias_t%C3%B3xicas_y_contaminantes_que_llegan_a_la_atm%C3%B3sfera
- Alonso, J. (2013). *Motores: Transporte y Mantenimiento de Vehículos*. Paraninfo.
<https://www.lavanguardia.com/libros/libro/motores-9788428398978>
- Arteaga, C., Trías, E., & Mendoza, A. (2018). *Análisis de Lubricantes*.
https://www.academia.edu/es/5187356/AN%C3%81LISIS_DE_ACEITES_LUBRICANTES
- Astudillo, M. O. (2010). *Tecnología del automóvil* (1ra edición, Ed.). Paraninfo.
- Barrera, R. (2021). *Estudio del Desgaste del Motor en Función del Análisis de la Composición del Aceite Lubricante* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16041>
- Billiet, W. (1979). *Entretimiento y Reparación de Motores de Automóvil*. Reverté, S.A.
- Burgio, L. (2013). *Seminario de Tribología y Lubricación*.

Cabrera, J., & Carrera, J. (2017). *Análisis de la Degradación del Aceite de Motor en Taxis de la Ciudad de Cuenca, por Dilución de Combustible, sus Causas y Soluciones* [Tesis de Grado, Universidad del Azuay].

<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6948/1/12903.pdf>

Capa, H. (2015). *Probabilidades y estadísticas: Para una gestión científica de la información*. Escuela Politécnica Salesiana. <https://www.epn.edu.ec/libros/libro-de-estadistica/>

Capello, C., Fischer, U., & Hungerbühler, K. (2007). What is a green solvent? A comprehensive framework for the environmental assessment of solvents. *Green Chemistry*, 9(9), 927–934. <https://doi.org/10.1039/B617536H>

Caputo, D., Berberi, R., Ferré, N., Puricelli, A., Fonteriz, V., Ferreyra, R., Aguirre, R. N., Calvo, B. E., & Bruno, J. M. (2015). Caracterización del Fluido de Trabajo Para Motores de Ciclo Otto a Cuatro Tiempos y su Utilización en el Ciclo Indicado Previsto. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 2(0), 80–88. <https://doi.org/10.30972/EITT.20283>

Carreras, R., Flórez, J., Callejón, I., Carrera, X., Balsells, D., Bonet, O., Espada, I., Forns, S., Isidro, L., Miret, T., Sánchez, D., Serrano, A., Soldevilla, X., Villa, J., Costa, R., Forcadell, C., & Casanovas, J. (2005). *Motores alternativos de combustión interna. 1*, 148–162. https://www.academia.edu/13386319/Motores_alternativos_de_combusti%C3%B3n_interna

de Castro Vicente, M. (1980). *Carburadores* (Sexta edición). CEAC.

Díaz, C., & Albo, A. (2018). *Mantenimiento Mecánico Preventivo del Vehículo*. Síntesis.

- División de Toxicología ToxFAQs TM. (2002). www.atsdr.gov/es/
- Domínguez, E. J., & Ferrer, J. (2013). *Elementos Amovibles*. Editex.
- Galvez, A., & Paucar, D. (2020). *Análisis de la Influencia del Sobrecalentamiento del Motor de Combustión Interna en la Degradación del Aceite Lubricante* [Tesis de Grado]. Universidad Politécnica Salesiana.
- Gonzales, D. (2018). *Motores*. Paraninfo.
- González, J. (2019). *Determinación del factor Lambda (λ) de las mediciones de emisiones contaminantes de los vehículos a gasolina del CU Nezahualcóyotl* [Tesis de Grado, Universidad Autónoma de México]. <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/99762>
- Google Maps. (2023). *Mapa de la ciudad de Cuenca*. www.google.com/maps
- Gualtieri, P. Jorge. (2008). *Inyección electrónica en motores nafteros, Diesel, GNC, GLP e hidrógeno: inyección common-rail; inyección de agua, alcohol, éter y nitro* (3ra edición). Editorial Cosmopolita.
- Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2007). *Análisis y Diseño de Experimentos* (2da Edición). MCGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Halderman, J. D. (2011). *Automotive engines: theory and servicing*. Prentice Hall.
https://books.google.com/books/about/Automotive_Engines.html?id=8UjMRAAACAA
- J
- Hameed, D., & Ali, K. (2020). Analysis of 0W-20 Totachi Brand Oil to Determine the Rate of Oil Deterioration. *UKH Journal of Science and Engineering*, 139–146.

- Hoag, K., & Dondlinger, B. (2015). Vehicular Engine Design. *Vehicular Engine Design*: (2da edición). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-1859-7/COVER>
- Isaza, C., & Gonzales, B. (1981). Lubricantes. *Sena*.
<https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5871/lubricantes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Marín, J. (2016). *Alimentación de los motores de ciclo Otto*.
<https://silo.tips/download/alimentacion-de-los-motores-de-ciclo-otto#>
- Montijo, E., García, L., Espinoza, F., & Borbua, E. (2019). Evaluación del Rendimiento de Tecnología de Nanofiltración de Aceite Lubricante Aplicado a Maquinaria Pesada, Mediante Análisis y Pruebas de Laboratorio Según Norma ISO 4406. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera*, 41.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7934175>
- Orovio, M. (2010). *Tecnología del Automóvil*. Paraninfo.
https://books.google.com.ec/books/about/Tecnolog%C3%ADa_del_autom%C3%B3vil.html?id=JRSqKKaK9zcC&redir_esc=y
- Pérez, D. (2018). Estudio de emisiones contaminantes utilizando combustibles locales. *INNOVA Research Journal*, 3. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n3.2018.635>
- Pérez, M. (2017). *Sistemas Auxiliares del Motor* (Segunda Edición). Paraninfo, S.A.
- Pezantes, R., & Zamora, P. (2015). *Caracterización del Tipo de Gasolina en Función de la Estequiometría de la Mezcla y el Adelanto del Encendido Mediante Análisis de Ruido de un Motor Ciclo Otto, Para una Altitud de 2500msnm* [Tesis de Grado, Universidad

Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7698/1/UPS-CT004565.pdf>

Plaza, J. (2018). *Estudio de la Participación de Mercado de Lubricantes en los Lubriservicios y Tecnicentros de la Parroquia Tarqui en la Ciudad de Guayaquil Para la Introducción del Aceite de Motor Holandés Euro*. [Tesis de Grado, Universidad de Guayaquil].

<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/31286/1/Tesis%20Johnny%20Plaza.pdf>

Proyectos Gestión Conocimiento. (2022). *Diagrama BoxPlot*.

<https://www.pgconocimiento.com/diagrama-boxplot/>

Quezada, M., & Seade, S. (2006). *Mantenimiento y Comprobación de un Motor Isuzu G 200* [Tesis de Grado, Universidad del Azuay].

<https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/366/1/05594.pdf>

Ríos, I., & Quintana, C. (2020). *Diagrama de Caja y Bigotes*. <https://institutoclaret.cl/wp-content/uploads/2020/06/GU%C3%8DA-DIAGRAMA-DE-CAJON-Y-BIGOTE-4%C2%B0-PD-MAT.pdf>

Romero, M., Olite, F., & Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 44(2), 1–14.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223214848008>

Rondón, N., Torres, O., Montero, E., & Romero, J. (2012). *Manual de Reparación de Automóviles (Lexus)*.

Rovira, A., & Muñoz, M. (2015). *Motores de combustión Interna*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. <https://elibro.net/es/lc/unad/titulos/48846>

- Sardiña, A., Muriel, J., & Arrospide, J. (2017). Alimentación de Motores de Combustión Interna. En *Sistemas de Inyección de Motores*.
<https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2501/Alimentaci%C3%B3n%20de%20motores%20de%20combusti%C3%B3n%20interna%2C%20sistemas%20de%20inyecci%C3%B3n%20de%20motores.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Secundino, Escudero., González, J., & Rivas, J. Luis. (2000). *Motores*. 409.
- Shenzhen Yateks Optical Electronic Technology Co. (2020). *YJS-150 Particle Counter User's Manual* (p. 4). https://estliveupsedu-my.sharepoint.com/personal/mgarciat_ups_edu_ec
- Terradillos, J., Bilbao, M., & Málaga, A. (2014, marzo 7). *Lubricación y Mantenimiento de Motores de Gas*. <https://lubrication-management.com>
- Toala, J. (218d. C.). *Estudio de la participación de mercado de lubricantes en los lubriservicios y tecnicentros de la parroquia Tarqui en la ciudad de guayaquil para la introducción del aceite de motor holandés euro*. [Universidad de Guayaquil].
<http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/31286/1/Tesis%20Johnny%20Plaza.pdf>
- Valenzuela, E., Leonor, G., Espinoza, F., Borboa, E., & Monteverde, O. (2019). Evaluación del Rendimiento de Tecnología de Nanofiltración de Aceite Lubricante Aplicado a Maquinaria Pesada, Mediante Análisis y Pruebas de Laboratorio Según Norma Iso 4406. *Revista de investigación*, 31–33.
- Villegas, A. (2007). *Motores de Combustión Interna*.