

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESGASTE EN MOTORES DE VEHÍCULOS
A GASOLINA Y GAS NATURAL VEHICULAR PARA LA EMPRESA
SERVICAR EN LA CIUDAD DE MONTERÍA POR MEDIO DE LA
CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EN ACEITES LUBRICANTES
EMPLEANDO EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**



Autores:

**ALVARO JAVIER MAUSSA CABALLERO
LEONARDO JOSE ORTEGA ARRIETA**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA - CÓRDOBA
2016**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESGASTE EN MOTORES DE VEHÍCULOS
A GASOLINA Y GAS NATURAL VEHICULAR PARA LA EMPRESA
SERVICAR EN LA CIUDAD DE MONTERÍA POR MEDIO DE LA
CUANTIFICACIÓN DE ELEMENTOS EN ACEITES LUBRICANTES
EMPLEANDO EL ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA.**



Autores:

**ALVARO JAVIER MAUSSA CABALLERO
LEONARDO JOSE ORTEGA ARRIETA**

Director:

**ING: JAIRO LUIS DURANGO PADILLA
INGENIERO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MONTERÍA - CÓRDOBA
2016**

La responsabilidad ética, legal y científica de las ideas, conceptos y resultados del proyecto, serán responsabilidad de los autores.

Artículo 61, acuerdo N° 093 del 26 de noviembre de 2002 del consejo superior.

NOTA DE ACEPTACIÓN

JAIRO LUIS DURANGO PADILLA

Director

ALONSO PERDOMO JIMÉNEZ

Jurado

DEMÓSTENES JOSÉ DURANGO ÁLVAREZ

Jurado

DEDICATORIA

Agradecimientos a Dios por darme la oportunidad de realizar estudios universitarios, el presente trabajo de grado como símbolo de superación personal y crecimiento profesional lo dedico a mis padres Álvaro José Maussa caballero y Amparo Cenith Caballero Pulido, como a mis hermanos Alfredo José Maussa Caballero y Amparo Judith Maussa Caballero, en los cuales siempre he encontrado apoyo incondicional a pesar de todas las dificultades que se han presentado en esta etapa de mi vida, a mi tía Consuelo Maussa Tordecilla y abuela Dolores Tordecilla que siempre me acogieron y brindaron un lugar en su hogar por lo cual estaré eternamente agradecido.

Álvaro Javier Maussa Caballero

Dedico este triunfo a Dios por guiar cada paso en esta ardua carrera, a mis padres Sila Arrieta y Manuel Ortega por brindarme todo su apoyo y ser los principales actores para que este sueño se haga realidad, a mis hermanas por su compañía, amor y confianza que pusieron en mí.

Leonardo José Ortega Arrieta

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por habernos permitido culminar esta carrera universitaria, a todos los profesores y personas que hacen parte del programa ingeniería mecánica de la Universidad de Córdoba que contribuyeron a nuestra formación y transformación a lo largo de nuestra formación profesional, al Ingeniero Jairo Luis Durango por su dedicación y conocimiento compartido para que ese proyecto sea una realidad,

Agradecemos al ingeniero Daniel Velázquez que abrió sus puertas en la empresa Servicar S.A.S y todo su equipo de trabajo que nos acogieron y guiaron en el proceso de recolección de muestras.

Agradecemos a los profesores José Joaquín Pinedo y Jaime Lázaro del programa de química, los cuales aportaron muchos conocimientos y apoyo en la realización de las pruebas, su colaboración fue fundamental para llevar a buen término este proyecto de tesis, mención especial a los profesores Enrique Combatt, Gilmar Santa Fe y José Luis Marrugo.

Agradecemos a nuestra colega Sindy Cavadia por su colaboración para el desarrollo de este proyecto.

Agradecemos a todos nuestros amigos y compañeros.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	16
3. REVISIÓN DE LITERATURA	17
3.1. ACEITE LUBRICANTE.....	17
3.1.1. Componentes de un aceite lubricante	18
3.1.2. Características físicas de los aceites lubricantes	22
3.1.3. Normas	23
3.1.3. Factores de deterioro de los aceites lubricantes:.....	25
3.2. GENERALIDADES DEL MOTOR CICLO OTTO 4 TIEMPOS	27
3.2.1 Materiales usualmente usados en piezas de motores de combustión	30
3.3. CONVERSIÓN A GNV	37
3.3.1 particularidades del funcionamiento del motor a gas natural.	40
3.4. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA)	41
3.5. DESGASTE.....	43
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
4.1. ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN PRELIMINAR	45
4.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS.....	45

4.3. TÉCNICA DE MEDICIÓN INDIRECTA DEL DESGASTE.....	47
5. METODOLOGÍA.....	48
6. RESULTADO Y DISCUSIÓN	54
6.1. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS A CUANTIFICAR.....	54
6.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO Y SELECCIÓN DEL TAMAÑO	55
6.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y OBTENCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES EN PPM PARA CADA ELEMENTO.....	57
6.4 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS PRESENTES EN LOS ACEITES LUBRICANTES.	59
6.4.1 Desarrolló de un modelo matemático considerando una tasa constante de desprendimiento de partícula (desgaste metálico).....	64
7. CONCLUSIONES.....	77
8. RECOMENDACIONES	80
9. BIBLIOGRAFÍA	81
10. ANEXOS	84
A. Ilustración proceso de recolección de muestras.....	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de lubricación de un motor ciclo Otto.....	17
Figura 2. Composición de los aceites lubricantes.	18
Figura 3. Principales productos petrolíferos, intervalos de temperatura de ebullición y de número de átomos de carbono.....	19
Figura 4. Vehículo convertido a GNV	38
Figura 5. Kit de conversión a GNV.	39
Figura 6. Apariencia del aceite usado.	47
Figura 9. Concentración de aluminio vs kilometraje.	61
Figura 10. Concentración de Hierro vs kilometraje.	62
Figura 11. Concentración de cobre vs kilometraje.....	63
Figura 7. Balance de masas para el sistema de lubricación del motor.....	64
Figura 8. Balance de masas.	65
Figura 12. Concentración del Sodio Vs Kilometraje	71
Figura 13. Concentración de Silicio Vs kilometraje	71
Figura 14. Concentración de Potasio Vs kilometraje.....	72
Figura 15. Concentración de cinc Vs kilometraje.....	73

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de características atmosféricas.	14
Tabla 2. Elementos de fabricación comunes para las partes del motor.	30
Tabla 3. Generaciones de conversión a GNV	40
Tabla 4. Rangos de kilometraje.....	49
Tabla 5. Identificación de los elementos a cuantificar	55
Tabla 6. Constante para nivel de confianza.	56
Tabla 7. Concentraciones de elementos de estudio en los aceites usados.	58
Tabla 8. Parámetros estadísticos de los elementos de desgaste.	59
Tabla 9. Parámetros estadísticos de los elementos contaminantes y aditivos.....	60
Tabla 10. Parámetros de la regresión para metales de desgaste.....	60
Tabla 11. Tasa de crecimiento del desgaste.	68
Tabla 12. Concentraciones corregidas de elementos.	70
Tabla 13. Valoración para Intervalos de concentraciones para el Silicio	74
Tabla 14. Valoración para intervalos de concentraciones para el Sodio.....	74
Tabla 15. Relación elementos con partes del motor.	75

RESUMEN

Se muestran los resultados de un estudio experimental de comparación del desgaste en motor del automóvil Chevrolet Spark LS 1.0 L 8 V usando gasolina y gas natural vehicular (GNV) por medio del análisis de aceites utilizando el método de espectroscopia de absorción atómica (EAA), el estudio se hizo teniendo en cuenta recomendaciones sugeridas por la empresa de taxis SERVICAR. S.A.S ubicada en la ciudad de Montería, a la cual se le realizó el análisis comparativo en su flota de taxis, por lo tanto, las condiciones de operación de los vehículos es de tipo servicio de transporte (taxis) con un kilometraje diario recorrido promedio de 200 km en un turno o 380 km en doble turno, que se transitan a velocidad promedio urbana (30 km/h), con un promedio de 2 pasajeros (140 kg aproximadamente) con poca o ninguna carga en maletero además del conductor. La recolección de las muestras de aceite se hace una vez ha terminado su ciclo de vida en el motor (6.000 km recorridos por el automóvil), sin hacer relleno con aceite durante el proceso de recolección.

Los análisis de EAA se realizan en las muestras de aceite para determinar la concentración de los elementos hierro, aluminio, cobre, cinc, sodio, potasio y silicio. Los resultados demuestran que la velocidad de desgaste en términos generales es menor para la concentración de metales de desgaste en el motor funcionando a GNV en comparación con el que utiliza gasolina, la tasa de desgaste de los elementos aluminio, hierro y cobre es mayor en los vehículos que utilizan combustible tradicional con razones de 102 %, 107 % y 104 % respectivamente.

Palabras clave: Aceite lubricante, Desgaste, motores, gasolina, GNV, Espectrometría.

ABSTRACT

The results of an experimental study comparing degaste shown in automobile engine Chevrolet Spark LS 1.0L 8V using gasoline and compressed natural gas (CNG) through oil analysis using the method of atomic absorption spectroscopy, the study was done taking into account recommendations suggested by the taxi company SERVICAR. SAS located in the city of Monteria, which I will perform comparative analysis on its fleet of taxis, therefore the operating conditions of the vehicle is type shuttle (taxis) with a daily mileage average distance of 200 km in a 380 km shift or double shift, which is transiting urban average speed (30 km / h), with an average of 2 passengers (approximately 140 kg) with little or no charge in addition to the driver trunk. Collecting oil samples is done once finished its life cycle in the motor (6,000 km traveled by car), without filling with oil during the collection process. The analyzes with atomic absorption spectrophotometer are performed in the oil samples to determine the concentration of the elements iron, aluminum, copper, cinc, sodium, potassium and silicon. The results show that the wear rate generally is lower for the metal concentration of wear in the engine running CNG compared to using gasoline, the wear rate of the elements aluminum, iron and copper is greater in vehicles using traditional fuel with ratios of 102 %, 107 % and 104 % respectively.

Keywords: lubricating oil, wear, motors, gasoline, CNG Spectrometry.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente Colombia ocupa el octavo lugar a nivel mundial de vehículos que funcionan con GNV (Diario El Tiempo, 2015). Los vehículos de servicio público como los taxis son los principales consumidores de esta alternativa con una tasa de conversión positiva (Asociación colombiana de gas natural, 2014), estimándose para la siguiente década, en escenario medio, un crecimiento anual promedio del 1,6 % (Unidad de Planeación Minero Energética, 2010)

La razón principal por la que se incentiva la conversión a gas natural es de carácter ambiental, según el ministerio de medio ambiente, Colombia ocupa el puesto 44 en el Ranking de los países que emiten mayor cantidad de CO₂, donde las partículas PM 10 (material particulado con diámetro menor de 10 µm) provienen principalmente de la emisión de los automóviles y la combustión de carbón (Semana, 2013); esta es la razón por la que este ministerio ha venido desarrollando diferentes estrategias propensas a disminuir dichos índices.

Una de las estrategias de mayor fuerza ha sido promover el uso de combustibles alternativos menos contaminantes, y el atractivo más sobresaliente ha sido el empleo del GNV, el cual presenta ventajas económicas significativas frente al combustible tradicional como es la gasolina. Al comparar los precios y las reservas de dichos combustibles, el GNV parece factible (Misterio de Medio Ambiente, 2001).

Los estudios sobre la comparación del funcionamiento de motores a gasolina con los de GNV se vienen desarrollando desde el siglo pasado. En 1992, en la ciudad de New York

se hizo un estudio de carácter mecánico, demostrando una eficiencia de funcionamiento de vehículos funcionando a GNV entre 5 % y 20 % por debajo, en comparación a los camiones Diésel. Pocos años más tarde en la ciudad de Washington (USA) se evaluó vehículos a GNV en una flota de taxis, demostrando ventajas económicas en relación con el combustible tradicional (gasolina). A principios de este siglo el departamento de energía de los Estados Unidos (DOE) realizó estudios comparativos en condiciones dinámicas, este se realizó en un laboratorio logrando controlar muchas variables, con los resultados obtenidos se permite visualizar las diferencias en parámetros como potencia, torque y emisiones de cada uno de los combustibles (MINISTRO DE AMBIENTE, 2008).

En el año de 1998 la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) del Ministerio de Minas contrató un estudio para evaluar el comportamiento de automotores alimentados con gas natural en la ciudad de Bogotá. Con este trabajo se buscaba obtener información que permitiera definir la viabilidad de promover un programa de masificación de este combustible a nivel nacional (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2008).

En el año 2001 en un proyecto conjunto entre las Empresas Públicas de Medellín (EE.PP.MM.) y el Ministerio del Medio Ambiente se acordó evaluar mediante un estudio de carácter experimental, el desempeño mecánico y ambiental de algunos vehículos de la ciudad de Medellín que fueron convertidos a GNV y además analizar la factibilidad financiera del proyecto, de modo que se pudiesen cuantificar los beneficios técnicos, ambientales y económicos que se obtienen de operar estos vehículos con GNV, justificado en el hecho que debido a las diferentes condiciones ambientales era necesario el estudio en la ciudad de Medellín (MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE, 2008).

Según las empresas operadoras de taxis, la ciudad de Montería cuenta con un parque automotor legal activo conformado por 1.535 unidades, de los cuales un 70 % están convertidos a GNV con sistema de tercera generación. La empresa SERVICAR S.A.S posee una flota de 50 unidades de taxis operando en la ciudad de Montería; se encarga del mantenimiento y operación de los vehículos con taller propio de mecánica automotriz y almacén de repuestos. Sus socios aun no tienen certeza de que tipo de combustible ocasiona mayor desgaste en los motores de sus vehículos, y para esto se propone el análisis de EAA aplicado a muestras de aceite lubricante, teniendo en cuenta los rangos de operación en kilometraje, tipo de combustible y aceite lubricante utilizado.

Los estudios de diagnóstico han evolucionado, la EAA es una herramienta que nos brinda resultados confiables sobre el estado del motor bajo cualquier condición de operación por medio del análisis de aceite lubricante. La Universidad de Córdoba cuenta con este equipo de medición y con un laboratorio certificado para efectuar esta prueba, permitiendo realizar un informe detallado sobre la comparación del desgaste ocasionado al convertir un vehículo de gasolina a GNV.

La región cordobesa cuenta con características atmosféricas, entornos ambientales, geográficos, parque automotor y condiciones de las vías diferente a las zonas donde se han desarrollado estos estudios y es prácticamente imposible extrapolar esos resultados y aplicarlos a la ciudad de Montería como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de características atmosféricas.

Característica	Montería	Medellín	Bogotá
Elevación sobre el nivel del mar (msnm)	49	1.475	2.630
Precipitación (mm)	102,5	139,4	66,1
Temperatura media máxima (°C)	34,5	27,6	19,2
Temperatura media (°C)	28,2	21,8	13,3
Temperatura media mínima (°C)	20,8	16,8	7,4
Temperatura máxima absoluta (°C)	35,7	32,4	23,7
Temperatura mínima absoluta (°C)	19,9	10,8	-1,7
Humedad relativa del aire	76-82 %	63-73 %	77-83 %
Nubosidad	5,3	NR	5,8
Evaporación (mm)	NR	124,03	88,8

Fuente: IDEAM

A la hora de decidir qué tipo de combustible utilizar en nuestro vehículo, ya sea gasolina o GNV por medio de la adaptación del motor con un sistema de conversión, aun surgen dudas sobre los verdaderos alcances y beneficios que pueda presentar el uso de este combustible desde el punto de vista operacional: ¿Cómo se afectan las partes internas del motor y en consecuencia su vida útil, al utilizar combustible de gasolina y GNV?

El análisis de E.A.A aplicado a las muestras de aceite tomadas en la empresa SERVICAR S.A.S permite incidir no solo en el parque automotor de esta , sino en el de los 1.535 taxis legales que a febrero de 2016 operan bajo las mismas condiciones en la ciudad de Montería con altas exigencias de operatividad: En un solo turno de 8 horas pueden llegar a recorrer 200 kilómetros y en turno completo de 16 horas diarias 380 kilómetros, realizando cambio de aceite en periodos de un mes y 15 días respectivamente, ya que este se realiza cada

6.000 kilómetros, según datos obtenidos de las empresas operadoras de taxis de servicio público en la ciudad de Montería.

Para finalizar, cabe resaltar que este estudio propone una alternativa de aplicación para el uso de los equipos del laboratorio de toxicología y gestión ambiental de la Universidad de Córdoba, resaltando la incidencia que puede tener esta institución al contar con laboratorios calificados en beneficio del desarrollo regional, como es el análisis de aceites por medio de EAA para las empresas cordobesas que lo requieran.

La realización de este trabajo no solo tiende a aclarar ciertas dudas que surgen al comparar las ventajas y desventajas de un motor funcionando a gasolina o convertido a GNV, sino que además resalta la importancia del trabajo experimental al analizar el aceite por medio de la EAA Proporcionando un soporte científico para resolver dudas sobre los verdaderos alcances y beneficios que se presentan al convertir un vehículo de gasolina a GNV desde el punto de vista operacional y tiempo de vida útil del motor.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de desgaste en motores de vehículos a gasolina y convertidos a GNV mediante la cuantificación de elementos en aceites lubricantes para un rango de operación determinado empleando el EAA.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

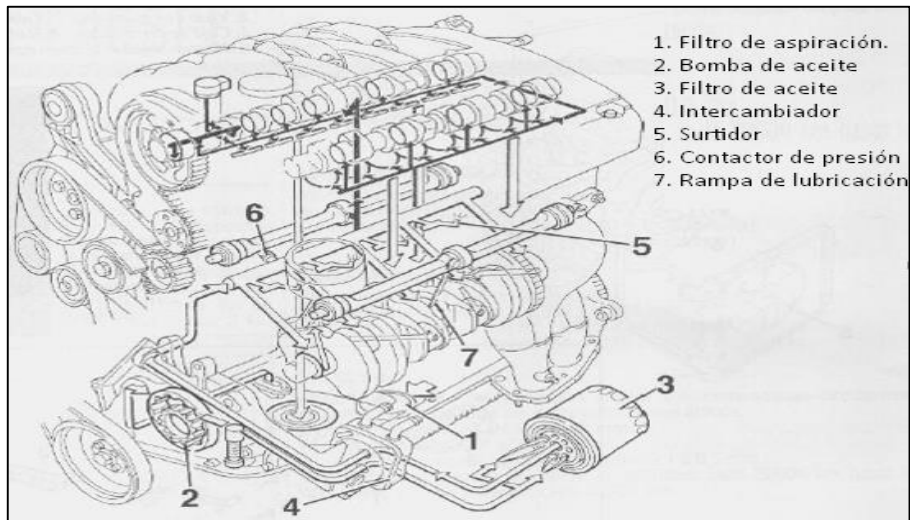
- Establecer los elementos a cuantificar teniendo en cuenta el espectrofotómetro de absorción atómica, el patrón de calibración, la composición del aceite lubricante y los elementos presentes en las piezas mecánicas lubricadas para el tipo de motor específico, que utilice combustible de gasolina y GNV.
- Determinar el tamaño de muestra de aceite automotor con el número de réplicas necesarias que permitan establecer variables comparativas confiables en los resultados obtenidos.
- Realizar la preparación de muestras y posterior ensayo con el EAA del laboratorio de toxicología y gestión ambiental de la Universidad de Córdoba, obteniendo y procesando los datos de las concentraciones para cada elemento.
- Comparar y analizar los resultados de las concentraciones de elementos presentes en los aceites lubricantes de los motores que utilicen combustible de gasolina y convertidos a GNV, identificando cual presenta mayor desgaste.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. ACEITE LUBRICANTE

Los aceites lubricantes son sustancias utilizadas para disminuir los efectos del contacto directo entre dos superficies que están en movimiento, es decir, su fin de reducir la fricción, además de otras funciones como servir de refrigerante. A medida que alcanza su periodo de uso, los componentes que conforman el aceite se degradan en sustancias cuyas propiedades no son aptas para su utilización como lubricante (Benavente R, Junio 1999), ahora estos se encuentran con altas concentraciones de metales producto del rozamiento entre las piezas, este fenómeno amerita ser estudiado para llegar a conclusiones válidas sobre el desgaste y sus implicaciones sobre la vida útil del motor. En la figura 1, se muestra como el aceite se encuentra en contacto directo con las partes internas del motor, evidenciando que la limadura y material desprendido es depositado en el aceite lubricante.

Figura 1. Sistema de lubricación de un motor ciclo Otto

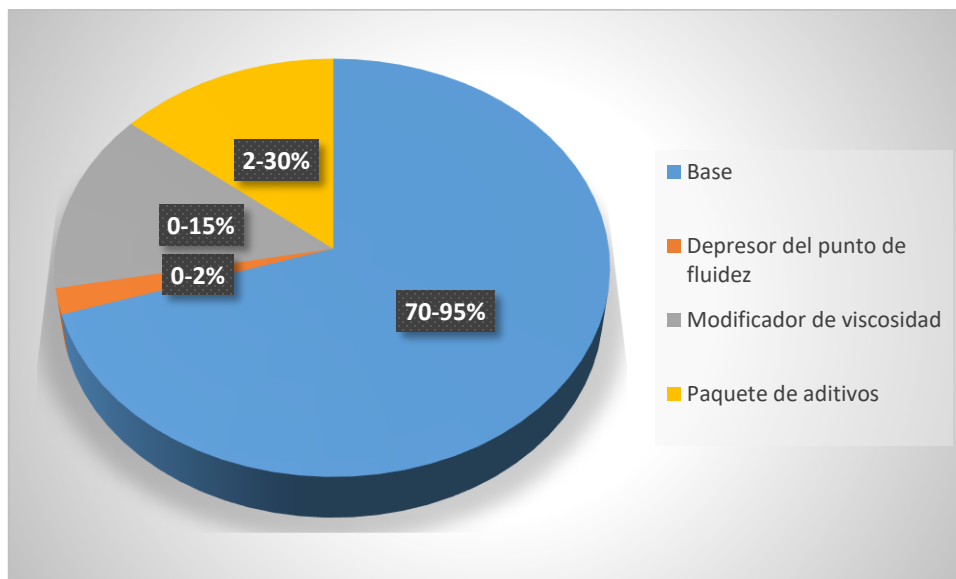


Fuente: (Paz, 2010)

3.1.1. Componentes de un aceite lubricante

Los aceites lubricantes se fabrican partiendo de una base que puede ser un aceite mineral o sintético, a la que se añaden compuestos químicos, llamados aditivos, para obtener o aumentar propiedades específicas requeridas en el aceite lubricante (Benavente R, Junio 1999). La proporción base versus aditivos, varía según el fabricante. La figura 2, muestra los rangos de concentraciones usuales: la base es la que impone las principales características del aceite lubricante, a medida que se mejoran los procesos para la fabricación y refinación de bases, el uso de aditivos se hace menor, llegando a tener una proporción de base hasta del 90 % en la composición del aceite lubricante.

Figura 2. Composición de los aceites lubricantes.

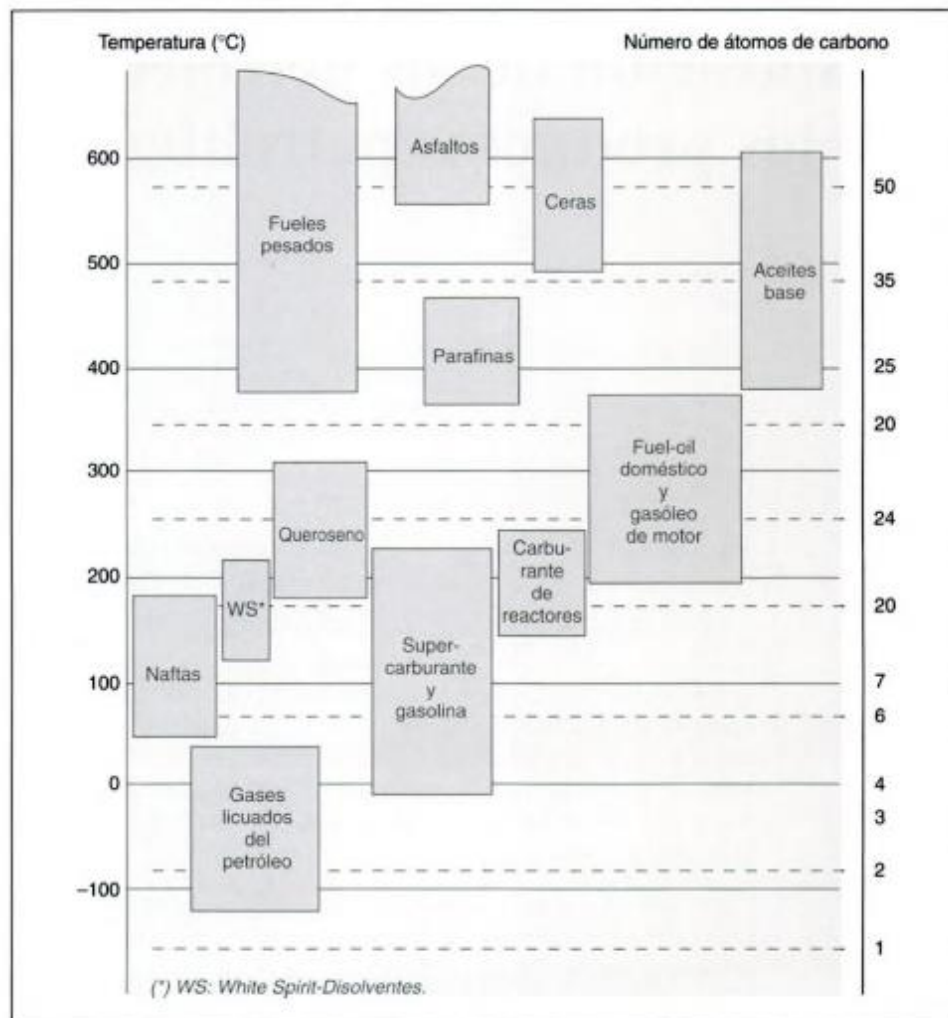


Fuente: (Chevron Corporation, 2009)

Bases minerales: Están conformadas por una mezcla compleja de hidrocarburos y otros compuestos que se obtienen del refinamiento del crudo de petróleo, ver figura 3, sus características están determinadas por la fuente de crudo que es utilizado como materia

prima para la fabricación de la base: puede ser de procedencia parafínica o naftenica, y del proceso específico de refinación usado por el fabricante. El crudo parafínico es el más usado para la fabricación de aceites lubricantes, su alta composición en componentes parafínicos hace que su índice de viscosidad sea más elevado que el del crudo naftenico (Rizvi, 2009).

Figura 3. Principales productos petrolíferos, intervalos de temperatura de ebullición y de número de átomos de carbono.



Fuente: (Wauquier, 2004)

Bases sintéticas: Son fabricadas principalmente por síntesis de moléculas iguales para una mayor uniformidad en sus propiedades. Estos aceites son la solución para trabajos en condiciones extremas de operación (temperaturas muy altas o muy bajas). (Benavente R, Junio 1999).

Las bases sintéticas comparadas con las bases minerales ofrecen mejores características de viscosidad para un amplio rango de temperaturas, mejor resistencia a la oxidación y menor volatilidad, menor uso de aditivos y más fácil degradación. (vita, 1995).

Aditivos: Son formulaciones químicas que tienen como función cubrir una necesidad que no es posible satisfacer con la base; pueden presentar efectos negativos si su dosis es descompensada o si ocurren reacciones indeseables entre los aditivos. Los aditivos que podemos encontrar en la fabricación de un aceite lubricante según (Rizvi, 2009) son:

Inhibidores de corrosión: Se encargan de prevenir el ataque químico a las superficies metálicas del motor, causado por la presencia de agua, ácidos orgánicos de la oxidación del aceite o debido a productos de la combustión arrastrados por el aceite. Estos compuestos generalmente están hechos por sulfonatos o fenatos.

Detergentes: Encargados de mantener el aceite limpio impidiendo a los precursores de depósitos, que se forman bajo altas temperaturas o como el resultado de quemar combustibles con un alto contenido de sulfuro, alojarse en las partes y conductos del motor. Los más usados son sales de metales alcalinotérreos como el barrio, calcio, magnesio, conocidos como compuestos órgano-metálicos.

Dispersantes: Capaces de diseminar los lodos húmedos constituidos por una mezcla compleja de productos no quemados de la combustión, carbón, óxidos de plomo y agua.

Recubren a cada partícula con una película, repelen eléctricamente a las demás partículas, evitando su aglomeración y consecuentemente, la formación de depósitos en los conductos y piezas. Suelen ser copolímeros, Succinimidias sustituidas o amidas.

Aditivos antidesgaste: Llamados AW (anti wear) son usados para reducir la fricción cuando no se puede mantener una película lubricante completa (lubricación mixta), esta se hace progresivamente más delgada, debido a incrementos de carga o temperatura dando lugar a contacto entre irregularidades en las superficies. El aditivo se impregna en las superficies metálicas y reacciona cuando entran en contacto, incrementando la temperatura debido a la fricción para formar una capa órgano-metálica, evitando así el contacto metal-metal. Salvando las piezas de rayones y perforaciones. Los principales aditivos usados para evitar el desgaste son: ácidos grasos y esteres.

Aditivos de presiones extremas: Llamados EP (extreme pressure) se adhieren a las superficies y promueven la separación de las mismas por efectos de repulsión entre cargas, son requeridos en condiciones donde la temperatura y altas cargas impiden la formación de una capa lubricante (lubricación limite). De esta forma se controla el desgaste y previenen graves daños en las piezas al haber contacto directo en ausencia de lubricante. Es un aditivo que suele encontrarse en aceites destinados a utilizarse en sistemas de transmisión de potencia. Suelen ser monosulfuros, disulfuros de alquilos, oleofinas sulfuradas, esteres de ácidos grasos insaturados sulfurados o diorganos ditiofosfatos metálicos.

Antiespumantes: Las moléculas de estos aditivos se pegan a burbujas de aire que se forman en la espuma, originando puntos débiles con el fin que estas colapsen. El volumen adicionado de este aditivo es crítico, ya que mucha cantidad incrementa el potencial de

producir espuma. Los antiespumantes usados son polímeros de silicona y polímeros orgánicos.

Depresor del punto de fluidez: Al disminuir la temperatura la parafina presente en el aceite lubricante tiende a cristalizarse y por tanto disminuye la fluidez del lubricante, estos aditivos ayudan a mantener el aceite fluido a bajas temperaturas al inhibir la conglomeración, cambiando la forma y tamaño de los cristales sin afectar las propiedades del aceite lubricante. Los aditivos usados para este fin son los alquilaromáticos.

3.1.2. Características físicas de los aceites lubricantes.

Las características físicas de los lubricantes usados son fáciles de medir, además de ser las que condicionan el comportamiento final del lubricante en el motor. Según (Ramirez, 2001) se encuentran:

Color: Se refiere a la capacidad del aceite de ser atravesado por la luz, varia de negro (opaco) a transparente (claro). Las variaciones en el color pueden ser indicio de factores como: diferencias del crudo de petróleo, grado de viscosidad, método y grado de tratamiento y refinado, cantidad y tipo de aditivos agregados. Es común que los fabricantes coloren artificialmente sus aceites lubricantes y grasas.

Numero de bases (TBN): Representa cuanto ácido se puede neutralizar en términos de cantidad de una base estándar en un volumen especificado de aceite, producidos tanto por la oxidación del aceite al ser sometido a elevadas temperaturas como la combustión.

Punto de fluidez: Es la temperatura más baja a la cual el aceite puede fluir libremente, comportándose como un líquido. La importancia de esta propiedad es dependiente del uso

a dar al aceite lubricante (ej. Funcionamiento en zonas con temperatura atmosférica baja, uso en máquinas frigoríficas).

Cenizas sulfatadas: Al calentar aceite lubricante e interactuar con el ácido sulfúrico producto de la combustión, se crean los residuos llamados cenizas sulfatadas. Altos contenidos de cenizas sulfatadas pueden formar depósitos que mermen el desempeño del motor, disminuyendo potencia y eficiencia, aunque muy poca cantidad proporciona menor protección contra el desgaste. Los detergentes y el cinc difosfato son las fuentes más comunes de las cenizas.

Viscosidad: Es una propiedad que condiciona la capacidad para formar una película de lubricante protectora, el efecto sellante del aceite, tasa de consumo del aceite, facilidad de encendido del motor y afecta la generación de calor y enfriamiento de las partes.

3.1.3. Normas

API (American Petroleum Institute)

Esta norma valora la calidad de un aceite lubricante en términos de sus propiedades; detergencia, dispersividad, antidesgaste, antioxidación, etc.

El desempeño del aceite se indica con la abreviatura API seguida de dos letras; La primera letra hace referencia al tipo de motor; S para motores a gasolina, C para motores Diésel. La segunda letra designa el nivel de los resultados obtenidos en las pruebas según la norma API.

Los lubricantes se someten a cuatro pruebas que deben completar satisfactoriamente para alcanzar los niveles de rendimiento API; estas pruebas tienen en cuenta: El aumento de la temperatura del aceite del motor en servicio; La prolongación del período entre cambios

de aceite recomendados por los fabricantes; Los esfuerzos para aumentar el rendimiento del motor; cumplir con las normas de protección del medio ambiente; Y para algunos aceites:

Menor consumo de combustible debido a la baja viscosidad (conservación de la energía).
(American Petroleum Institute , s.f.)

SAE (Society of Automotive Engineers)

Esta norma clasifica los aceites en función de su viscosidad. La norma SAE J300 define el llamado grado de viscosidad para cada lubricante. Por ejemplo, un lubricante SAE 40 tiene un grado de viscosidad 40. A mayor número más viscoso es el aceite al someterlo a temperatura. Es importante utilizar un aceite que siga siendo lo suficientemente viscoso para proteger el motor cuando funciona a temperaturas elevadas. Cuando el motor está frío, por el contrario, el lubricante tiende a espesar, es importante entonces que se mantenga líquido, incluso a bajas temperaturas, a fin de que fluya por todas las partes, conductos del motor y proteja en menor tiempo al encender el motor (segundos de protección). La norma SAE define un "grado de viscosidad en frío" que se identifica con el grado de viscosidad seguido por la letra W al final (Winter=invierno), por ejemplo, SAE10W. Cuanto menor sea el número, el lubricante tendrá una mayor fluidez a baja temperatura o en el encendido del motor.

Aceites monogrados se utilizan generalmente cuando las temperaturas de funcionamiento no varían mucho (o para usos específicos).

Aceites multigrados ofrecen un grado de viscosidad en invierno y de verano simultáneamente; su viscosidad cambia en función de la temperatura. Por ejemplo, un

aceite SAE 10W40 tiene una viscosidad de grado SAE 10 en frío y grado SAE 40 en caliente. (Society of Automotive Engineers, 2015)

3.1.3. Factores de deterioro de los aceites lubricantes:

Al utilizar aceites lubricantes en motores de combustión interna estos se ven sometidos a condiciones de operación que propician la degradación de sus componentes, razón por la cual el aceite lubricante tiene un periodo de uso, limitado por su tasa de degradación y contaminación limite al que cumple bien su función, lo que hace necesario su reemplazo por uno en buen estado. Los principales factores de deterioro específicos, que se presentan en aceites lubricantes que son utilizados en motores de combustión interna según (Ramirez, 2001) son:

Temperatura de operación: Los aceites lubricantes compuestos por derivados del petróleo poseen hidrocarburos que se descomponen y volatilizan al estar sometidos a alta temperatura, lo cual ocasiona oxidación o polimerización del aceite. La descomposición del aceite produce productos solubles o insolubles; los productos solubles generalmente son ácidos que forman emulsiones estables en presencia de agua y que atacan químicamente las superficies metálicas, primordialmente cuando son fabricadas de plomo o cobre-plomo, estos productos solubles pueden ser inhibidos por la acción de aditivos antioxidantes y anticorrosivos, aunque si su concentración es considerablemente alta se presenta la formación de lodos que dan lugar a productos insolubles, estos pueden deteriorar las superficies metálicas que lubrican o taponar las tuberías que conducen el aceite. Del tipo de base lubricante con que esté fabricado el aceite y del grado de refinamiento que posea, dependerá el nivel de oxidación y polimerización del lubricante, aunque la presencia de aditivos antioxidantes puede evitar que ocurra este fenómeno.

El aceite puede mostrar signos de deterioro incluso a temperatura ambiente, aunque es tan escaso que no es significativo como para socavar su duración, a temperaturas menores de 50 C, la velocidad de oxidación es lo suficientemente baja como para no ser factor determinante en la vida del aceite. Mientras más baja sea la temperatura de operación, menores serán las posibilidades de deterioro por descomposición.

Agua: La presencia de agua en el aceite lubricante puede ser ocasionada por el condensado de vapor de agua presente en el aire atmosférico, o debido a fugas en el sistema de enfriamiento del lubricante. El agua causa emulsificación del aceite y lavado de la película lubricante que protege la superficie metálica, provocando desgaste.

Combustibles: Trazas de combustible se pueden encontrar en el aceite lubricante; el combustible ingresa hacia la cámara de combustión y posteriormente al cárter de aceite. El combustible al mezclarse con el aceite lubricante provoca dilución y deterioro del mismo.

Sólidos y polvo: Estos contaminantes pueden entrar en contacto con el aceite debido a empaques y sellos en mal estado. Tierra, partículas metálicas provenientes del desgaste de las piezas, hollín y subproductos de la combustión de combustibles líquidos, también son contaminantes sólidos perjudiciales que se pueden encontrar.

Debido a estas condiciones especiales de deterioro, los fabricantes de automotores de combustión interna, realizan diversos análisis de aceites para establecer las características físicas o químicas del mismo; ya sea viscosidad, color, componentes, gravedad específica entre otras, o también medir los efectos que se producen en el motor al ser utilizados en estos, después de un tiempo de prueba en las condiciones de funcionamiento requeridas,

de este modo se puede establecer el tipo de lubricante y periodo de uso adecuado para un motor para diferentes condiciones de uso (selección y mantenimiento predictivo).

3.2. GENERALIDADES DEL MOTOR CICLO OTTO 4 TIEMPOS

El motor de 4 tiempos a gasolina es utilizado por excelencia en el mundo automotriz, fue ideado por el ingeniero alemán Nikolaus August Otto en 1876 al que se relaciona a menudo con el ciclo de funcionamiento del motor, aunque ha sufrido muchos cambios que han mejorado su relación peso-potencia, rendimiento, eficiencia. El ciclo de funcionamiento (ciclo Otto) según (Cabronero Mesas, Motores de combustión interna y turbinas de gas, 2003) consiste en los siguientes procesos:

1. Tiempo de admisión: La mezcla aire combustible ingresa por la válvula de admisión a la cámara de combustión.
2. Tiempo de compresión: El pistón se desplaza disminuyendo el volumen y aumentando la presión de la mezcla aire/combustible, en este tiempo también es provocada la chispa mediante la bujía, debido al adelantamiento de chispa utilizado en el motor.
3. Tiempo de combustión: El combustible se inflama, los productos de la combustión aumentan su volumen ejerciendo una presión sobre el pistón que lo impulsa, entregando potencia por medio del mismo en su recorrido hacia el punto muerto inferior.
4. Tiempo de escape: La válvula de escape se abre, permitiendo que los gases de combustión sean expulsados de la cámara de combustión, son expulsados por el pistón que sube nuevamente.

Este tipo de motor (Otto 4T) es utilizado por excelencia en muchas aplicaciones como son; motocicletas de todas las cilindradas, automóviles, aviación deportiva y fuera de borda. Las partes principales que conforman un motor son: bloque, cigüeñal, biela, pistón, culata, válvulas entre otras. En los 4T es muy frecuente designarlos según la disposición de los árboles de levas que posea como: SV, OHV, SOHC, DOHC.

El motor cuenta con muchos sistemas que lo conforman según, (Giacosa) los sistemas principales que encontramos son:

-**Sistema de lubricación:** es el encargado de mantener las partes del motor que están en constante contacto durante su movimiento, cubiertas por una delgada película de aceite lubricante para disminuir los efectos del rozamiento.

-**Sistema de alimentación:** Es el encargado de suministrar una mezcla de combustible-aire, cuenta con un depósito para almacenamiento de combustible, una bomba de combustible y un dispositivo que vaporiza o atomiza combustible en la cantidad necesaria según el régimen del motor.

-**Sistema de distribución:** Controla la apertura de válvulas de cabezal o válvulas deslizantes que se mantienen cerradas por unos muelles hasta que son accionadas por el árbol de levas, haciendo posible la alimentación de la mezcla aire-combustible y la expulsión de los gases producto de la combustión en los tiempos correspondientes.

-**Encendido:** El sistema de ignición consta de una bobina de encendido, que induce un impulso eléctrico de alto voltaje que se lleva al cilindro correspondiente, utilizando un distribuidor rotativo y unos cables que dirigen la descarga a la bujía la cual dispone de dos

electrodos entre los cuales el impulso eléctrico produce una chispa que inflama el combustible.

-Refrigeración: Encargado de eliminar el calor generado por la combustión para evitar el sobrecalentamiento del motor. Los cilindros son bañados por un líquido que fluye entre la carcasa impulsado por una bomba, este absorbe calor y lo conduce hasta un intercambiador de calor (radiador), que al intercambiar calor con el aire atmosférico refrigera el líquido

-Sistema de arranque: En los motores de combustión interna debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que sea posible iniciar el ciclo de funcionamiento. Un motor eléctrico conocido como motor de arranque es conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor.

El rendimiento térmico de los motores Otto depende de la relación de compresión del motor y la relación de calor específico del gas en la cámara de combustión y se ve condicionado en términos generales por la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración. Por tanto, la eficiencia se incrementa con la relación de compresión. Sin embargo, la relación de compresión de motores de ciclo Otto está limitado por la necesidad de prevenir la combustión incontrolada. Los motores modernos tienen relación de compresión en el rango de 8 a 11 (Alvarez Florez, 2005), lo que resulta en la eficiencia del ciclo ideal del 56 % al 61 %. Se pueden utilizar proporciones mayores, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano para evitar el fenómeno de la detonación, que puede producir graves daños en el motor.

3.2.1 Materiales usualmente usados en piezas de motores de combustión interna

Los materiales más comunes para la fabricación de las piezas del motor se muestran en la tabla2.

Tabla 2.Elementos de fabricación comunes para las partes del motor.

Bloque de cilindros	DIN 1691
	GG: Hierro fundido con grafito laminar (fundición gris): no maleable, fácilmente mecanizable y fundible, sensible a deformación, resistente a la presión, poca dilatación, buenas características de rozamiento, resistente a vibraciones, corrosión y fuego. Buenas propiedades de deslizamiento, para altas solicitaciones.
	GG-12: fácilmente mecanizable; para piezas de fundición sometidas a solicitación mediana, 3,3 a 3,6 % C, resistencia a la tracción de 120 N/mm ² .
	GG-20: para piezas de fundición con alta solicitaciones, 1,6 a 2 % Si, con 3,2 a 3,4% C, resistencia a la tracción de 200 N/mm ² .
	GG-25: para piezas de fundición con alta solicitaciones, 1,2 a 1,8 % Si; 2,8 a 3,2 % C; resistencia a la tracción de 250 N/mm ² .
	GG-26: 1,2 a 1,8 % Si; 2,8 a 3,2 % C; resistencia a la tracción de 260 N/mm ² .
	Metal ligero: Aleación de aluminio fundida y maleable
	G-Al Si 10 Mg: piezas para fundición resistentes a vibraciones; 10 % Si, 0,3 % Mg, resto Al; resistencia a la tracción de 180 a 240 N/mm ² .
	Mg, resto Al; resistencia a la tracción de 180 a 240 N/mm ² .
	Al Si 12: aleación para fundición en arena, resistente al choque, aptas para piezas de pared delgada; 12 % Si, resto Al; resistencia a la tracción de 170 a
	GD-Mg Al 9 Zn 1: aleación de magnesio para fusión y coladas a presión con 9 % Al, 0,3% Mn, 1 % Zn, resto Mg, resistencia a tracción de 240 a 280 N/mm ² .
Pistones	GK-Al Si 12 Cu Ni 1: aleación para fundición en coquilla tiene pequeña dilatación térmica y es templable, con Si 12 %, Cu 1 %, Ni 1 %, Mg 1 %, el resto Al, resistencia a tracción de 200 a 370 N/mm ² .
	Al-Si 12 Cu Ni: (Si 12 %, Cu 1 %, Ni 1 %, Mg 1 %, el resto Al) para fundición en coquilla y pistones moldeados, dilatación térmica = 0,000021 1/k; resistencia a tracción de 200 a 370 N/mm ² .
	Al-Si 17 Cu Ni: aleación silicio-cobre-níquel-aluminio con Si 17 %, Cu 1 %, Ni 1 %, Mg 1 %, el resto Al, para pistones con dilatación térmica = 0,000019 1/k
	Al-Si 18 Cu Ni: (Si 18 %, Cu 1 %, Ni 1 %, Mg 1 %, el resto Al) para pistones con dilatación térmica = 0,000019 1/k; resistencia a tracción de 180 a 300 N/mm ² .

Tabla 2. Elementos de fabricación comunes para las partes del motor (continuación).

Anillos o Segmentos	GG-30: fundición de alta calidad, endurecible superficialmente, para piezas con solicitaciones muy altas, 1,2 a 1,6% Si; 2,6 a 3% C; resistencia a tracción de 300 N/mm ² .
	GG-40: fundición de alta calidad, endurecible superficialmente, para piezas con solicitaciones muy altas, 1,2 a 1,6% Si; 2,6 a 3% C; resistencia a tracción de 400 N/mm ² .
	G-Cu Al 10 Fe: fundición bronce-hierro-aluminio con 9 % Al, 1 % Ni, 90 % Cu, resistente al agua de mar y corrosión, resistencia a tracción de 750 N/mm ² .
	Fundición gris de alta calidad con 3,6–4 % C, 2,5–3 % Si y 0,5–0,8 % Mn
	Anillo de compresión: se protege galvánicamente de cromo duro, contra la corrosión y desgaste
Bulón	C 15: acero no aleado con bajo contenido de fósforo (P) y azufre (S), para motores pequeños. 0,15 % C
	15 Cr 3: acero de baja aleación con contenido de carbono de 0,15 % C; 0,65 % Cr; resistencia a la tracción de 600 a 850 N/mm ² .
	15 Cr Ni 6: acero de baja aleación con contenido de carbono de 0,15 % C; 1,5 % Cr, 1,5% Ni; resistencia a la tracción de 900 a 1200 N/mm ² .
	DIN 17211: Aceros de nitruración: resistencia al desgaste, superficie muy dura a temperaturas por encima de 450°C
	34 Cr Al 6: acero de media aleación con 0,34% de C; 1,4 % Cr, 1 % Al; resistencia a la tracción de 750 a 950 N/mm ² .
	34 Cr Al Mo 5: acero de media aleación con 0,34 % de C; 1,2 % Cr, 1 % Al, 0,2 % Mo; resistencia a la tracción de 800 a 1000 N/mm ² .
Biela	34 Cr Mo 4: DIN 17200, Acero bonificado no aleado de medio carbono, para piezas con alta resistencia a fatiga, con 0,34 % C; 1 % Cr, 0,2 % Mo; resistencia a tracción de 800 a 950 N/mm ² .
	37 Mn Si 5: DIN 17200, Acero bonificado no aleado de medio carbono, para piezas con alta resistencia a fatiga, con 0,37 % C; 1,25 % Si, 1,25 % Mn; resistencia a tracción de 900 a 1050 N/mm ² .
	C22: Acero bonificado no aleado de medio contenido de carbono con 0,22 % C y resistencia a tracción de 500 a 600 N/mm ² .
	C60: Acero bonificado no aleado de alto contenido con 0,60 % C para piezas con sollicitación mediana y resistencia a tracción de 750 a 900 N/mm ² .
	30 Cr Ni Mo 8: Acero bonificado no aleado de medio contenido de carbono con 0,30 % C, 2 % Cr, 2 % Ni, 0,8 % Mo, para piezas muy fuertemente sollicitadas y resistencia a tracción de 550 a 1300 N/mm ² .
Cojinetes de biela	G-Cu Pb 5 Sn: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; aleación de bronce de estaño-plomo con buenas propiedades de deslizamiento y alta resistencia al desgaste con 85 % Cu, 5 % Pb, 10 % Sn, resistencia a la tracción de 300 N/mm ² .
	G-Cu Pb 20 Sn: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; aleación bronce de estaño-plomo con muy buenas propiedades de deslizamiento con 70 % Cu, 20 % Pb, 5 % Sn, 3 % Zn, 2% Ni, resistencia a la tracción de 200 N/mm ² .
	G-Cu Pb 25: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; aleaciones de bronce-plomo para fundición compuesta con 70 % Cu, 25 % Pb, 2 % Ni, 3 % Zn

Tabla 2. Elementos de fabricación comunes para las partes del motor (continuación).

Culata de cilindros	GD Al Si 13: 13 % Si, el resto Al; GD Fundición a presión; resistencia tracción de 200 a 280 N/mm ² .
	G-Al Si 10 Mg: piezas para fundición resistentes a vibraciones; G Fundición; 10 % Si, 0,3% Mg, resto Al; resistencia a la tracción de 180 a 240 N/mm ²
	GG-25: piezas para fundición con alta sollicitaciones; 1,2 a 1,8 % Si; 2,8 a 3,2 % C; resistencia a la tracción de 250 N/mm ² .
	GG-30: fundición de alta calidad, endurecible superficialmente, para piezas con sollicitaciones muy altas; 1,2 a 1,6 % Si; 2,6 a 3% C; resistencia a tracción de 300 N/mm ² .
	G-Al Mg 5: aleación resistente al agua, fácilmente soldable; 5 % Mg, resto Al; G Fundición; resistencia a la tracción de 240 a 320 N/mm ² .
	G-Al Si 10 Mg: piezas para fundición resistentes a vibraciones; G Fundición; 10 % Si, 0,3% Mg, resto Al; resistencia a la tracción de 180 a 240 N/mm ² .
Múltiple de admisión:	fundición de aluminio-manganeso; plástico
Múltiple de escape	GG-20: Hierro fundido con grafito laminar (GG); 1,6 a 2 % Si, con 3,2 a 3,4 % C, resistencia a la tracción de 200 N/mm ²
	GG-25: Hierro fundido con grafito laminar (GG); 1,2 a 1,8 % Si; 2,8 a 3,2 % C; resistencia a la tracción de 250 N/mm ²
	GG-30: Hierro fundido con grafito laminar (GG); fundición de alta calidad, endurecible superficialmente, para piezas con sollicitaciones muy altas; 1,2 a 1,6 % Si; 2,6 a 3% C; resistencia a tracción de 300 N/mm ²
	GGL-NiCr30 3: GGL: hierro fundido austenítico con grafito laminar, resistente al calor hasta 800 °C, de alta aleación, con 30 % Ni, 3 % Cr y acero de alta aleación con 2,6 % C, resistencia a tracción de 170 N/mm ² .
	GGG-NiCr20 2: GGG: hierro fundido con grafito esferoidal, 20 % Ni, 2 % Cr y 3% C; resistencia a la tracción de 380 N/mm ² .
	GGG-NiCr20 3: GGG: hierro fundido con grafito esferoidal, 20 % Ni, 3 % Cr y acero de alta aleación con 3% C; resistencia a la tracción de 400 N/mm ² .
Válvulas de admisión:	45 Cr Si 93: acero aleado al cromo-silicio de media aleación con 0,45 % C, 0,93 % Cr, % Si
	X 45 Si Cr 4: acero aleado al cromo-silicio de alta aleación y sollicitación, con 0,45 % C, 4 % Si y 2,6 % Cr, resistencia a la tracción de 900 a 1050 N/mm ² .
	X 45 Cr Si 4: acero aleado al cromo-silicio de alta aleación con 0,45 % C, 4 % Cr y 2,6 % Si, resistencia a la tracción de 900 a 1050 N/mm ² .
	37 Mn Si 5: acero aleado al manganeso-silicio de sollicitación mediana; 1,25 % Mn, 1,25 % Si y 0,37 % C; resistencia a la tracción de 800 a 950 N/mm ² .

Tabla 2. Elementos de fabricación comunes para las partes del motor (continuación).

Válvulas De escape:	Cr Si 9: acero aleado al cromo-silicio con 9 % Cr y 3 % Si.
	X 45 Si Cr 4: acero aleado al cromo-silicio de media aleación y sollicitación, con 0,45% C, 4% Si y 2,6 % Cr, resistencia a la tracción de 900 a 1050 N/mm ² .
	X 45 Cr Ni W 18 9: acero aleado al cromo- níquel-wolframio de media aleación con una carga térmica y mecánica alta, 0,45 % C, 18 % Cr, 9 % Ni, 1 % W, resistencia a la tracción de 800 a 1000 N/mm ² .
	X 55 Cr Mn Ni 20 8: acero aleado al cromo-manganeso-níquel de alta aleación con 0,55 % C, 20 % Cr, 8 % Mn, 1 Ni.
Balancines	corcho, neopreno, acero forjado en estampa, chapa estampada, aluminio con metal duro
Anillos de asientos de válvulas	X 210 Cr 12: acero de alta aleación con 11,5 % Cr, 2,10 % C, resistencia a la tracción de 800 a 950 N/mm ² .
	G-Cu Sn 10: aleación de cobre para fundición, bronce de estaño, resistente a la corrosión para cargas altas, 90 % Cu, 10 % Sn, resistencia a la tracción de 280 N/mm ² .
	GGL-Ni Cr 30 3: hierro fundido austenítico con grafito laminar de alta aleación, resistente al calor con 800° C con 2,6 % C, 30 % Ni, 3 % Cr, resistencia a tracción de 170 N/mm ² .
Vástago	DIN 1725 y 1745: Aleaciones fundidas y maleables de aluminio
	Al Cu Mg 1: aleación aluminio-cobre-magnesio, maleable, altamente resistente, 4 % Cu, 1 % Mg, 0,5 % Si, 0,5 % Mn, resto Al, resistencia a la tracción de 380 a 400 N/mm ² .
Resorte de válvulas	67 Si Cr 5: aleación silicio-cromo de alto contenido de carbono con 0,67 % C, 1,3 % Si, 0,5 % Cr, resistencia a la tracción de 1500 a 1700 N/mm ² .
	50 Cr V 4: aleación cromo-vanadio de alto contenido de carbono con 0,50 % C, 1 % Cr, 0,1 % V, resistencia a la tracción de 1350 a 1700 N/mm ² .
Guías de válvulas	GG-30: DIN 1691, hierro fundido con grafito laminar de alta aleación, endurecible superficialmente, para piezas con sollicitaciones muy altas, 1,2 a 1,6 % Si; 2,6 a 3 % C; resistencia a tracción de 300 N/mm ² .
	GG-40: hierro fundido con grafito laminar de alta aleación, endurecible superficialmente, para piezas con sollicitaciones muy altas, 1,2 a 1,6 % Si; 2,6 a 3% C; resistencia a tracción de 400 N/mm ² .
	G-Cu Sn 14: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; aleación maleable para fundición bronce-estaño fundido, resistente al desgaste con 86 % Cu, 14% Sn, resistencia a tracción de 250 N/mm ² .
	G-Cu Sn 7 Zn Pb: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; latón (rojo) cobrizo con alta resistencia al desgaste y buenas propiedades de deslizamiento con escasa lubricación con 83 % Cu, 7 % Sn, 4 % Zn, 6 % Pb, resistencia a tracción de 300 N/mm ² .
	G-Cu Zn 25 Al 5: DIN 1709, fundición de latón para piezas constructivas fuertemente sollicitadas con cargas deslizantes con 65 % Cu, 25 % Zn, 5 % Al 5 % Mg, resistencia a tracción de 750 N/mm ² .
	Cu Zn 31 Si: DIN 17660, aleación maleable de latón para sollicitación de deslizamiento incluso para cargas fuertes con 68 % Cu, 31 % Zn, 1 % Si, resistencia a tracción de 360 a 600 N/mm ² .

Tabla 2. Elementos de fabricación comunes para las partes del motor (continuación).

Asientos de válvulas	Fundición especial, metal pulverizado.
Tanque	fundición dura
Carter	Estampado de chapa de acero, corcho, neopreno, aluminio fundido G-Al Si10 Mg: para piezas de fundición resistentes a las vibraciones, 10 % Si, 0,3 % Mg, resto Al, resistencia a la tracción de 180 a 240 N/mm ² .
Cilindros	G-Al Si10 Mg: para piezas de aleación fundida y maleable de aluminio-silicio-magnesio, resistentes a las vibraciones, 10 % Si, 0,3 % Mg, resto Al, resistencia a la tracción de 180 a 240 N/mm ² .
	GG-25: DIN 1691, Hierro fundido con grafito laminar para piezas de fundición con alta sollicitaciones, 1,2 a 1,8 % Si; 2,8 a 3,2 % C; resistencia a la tracción de 250 N/mm ² .
	GG-30: DIN 1691, Hierro fundido con grafito laminar, fundición de alta calidad, endurecible superficialmente, para piezas con sollicitaciones muy altas, 1,2 a 1,6 % Si; 2,6 a 3 % C; resistencia a tracción de 300 N/mm ² .
	G-Al Si 12: aleación para fundición y maleable de aluminio en arena, resistente al choque, eficaz para piezas de pared delgada, 12 % Si, resto Al, resistencia a la tracción de 170 a 220 N/mm ² .
Cigüeñal	St42-1: DIN 17100, acero de construcción de uso general no aleado para sollicitaciones altas, 0,25 % C, 1: grupo de calidad, resistencia a tracción de 420 a 500 N/mm ² .
	34 Cr Mo 4: acero bonificado de medio carbono con 0,34 % C; 1 % Cr, 0,2 % Mo; resistencia a tracción de 800 a 950 N/mm ² . Para piezas con alta resistencia a fatiga. 42 Cr Mo 4: acero bonificado de medio carbono con 0,42% C con 1% Cr, 0,2% Mo, resistencia a tracción de 1000 a 1200 N/mm ² .
	37 Mn Si 5: acero bonificado de medio carbono con 0,37 % C; 1,25 % Si, 1,25 % Mn; resistencia a tracción de 900 a 1050 N/mm ² .
	GGG-50: DIN 1693: hierro fundido con grafito esferoidal con 3,8 % C, resistencia a la tracción de 500 N/mm ² .
	GGG-60: DIN 1693: hierro fundido con grafito esferoidal con 3,5% C, resistencia a la tracción de 600 N/mm ²
	GGG-70: DIN 1693: hierro fundido con grafito esferoidal con 3,5 % C, resistencia a la tracción de 700 N/mm ² .
	34 Cr Al 6: DIN 17211 Acero nitrurado de medio contenido de carbono con 0,34 % C, 1,4 % Cr, 1 % Al, resistente al desgaste, superficie muy dura, incluso a temperatura por encima de 450° C, resistencia a la tracción de 750 a 950 N/mm ² .

Tabla 2. Elementos de fabricación comunes para las partes del motor (continuación).

Muñones	Din 1663: acero cromo-molibdeno-vanadio
	V Cr Mo 135: acero de medio contenido de carbono con 0,3 a 0,37 % C, 0,9 a 1,2 % Cr, 0,12 a 0,25 % Mo, 0,5 a 0,8 % Mn, 0,35 % Si
	DIN 17100: aceros de construcción
	St34-1: acero no aleado de construcción en general de bajo contenido de carbono con 0,17 % C
	St: acero de construcción, 1: grupo de calidad, no previsto para tratamiento térmico con una Resistencia a tracción de 340 a 420 N/mm ² .
	St37-1: St: acero no aleado de construcción en general de bajo contenido de carbono con 0,2 % C, 1: grupo de calidad, no previsto para tratamiento térmico con una Resistencia a tracción de 370 a 450 N/mm ² .
	DIN 17210: Aceros de cementación
	C 10: acero no aleado de cementación con contenido bajo carbono de 0,10 % C, resistencia a la tracción de 420 a 520 N/mm ² .
	CK 15: acero bonificado no aleado de cementación con contenido de carbono de 0,15 % C, K: bajo contenido de fosforo y azufre, resistencia a la tracción de 500 a 650 N/mm ² .
Cojinetes cigüeñales	Lg Pb Sb 14: DIN 1703, metales antifricción a base de plomo y estaño denominado plomo duro antifricción 14, para sollicitación mediana y alta con 14 % Sb, 0,9 % Cu, hasta 0,3% Ni y 1,5% As, 77 a 86 % Pb
	Lg Pb Sn 9 Cd: DIN 1703, metales blanco antifricción 9 a base de plomo y estaño para altas exigencias con 9 % Sn, 1% Cu, 15,5 % Sb, 77 a 86 % Pb
	G-Cu Zn 25 Al 5: DIN 1709, aleaciones de cobre-cinc para fundición (latón fundido) para piezas constructivas fuertemente sollicitadas con cargas de deslizantes, 65 % Cu, 25 % Zn, 5 % Al, 5 % Mg, resistencia a la tracción de 750 N/mm ² .
	G-Cu Sn 14: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; aleación maleable para fundición bronce-estaño fundido, resistente al desgaste con 86 % Cu, 14 % Sn, resistencia a tracción de 250 N/mm ² .
	G-Cu Sn 7 Zn Pb: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; latón (rojo) cobrizo con alta resistencia al desgaste y buenas propiedades de deslizamiento con escasa lubricación con 83 % Cu, 7 % Sn, 4 % Zn, 6 % Pb, resistencia a tracción de 300 N/mm ² .
	G-Cu Pb 20 Sn: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; aleación bronce de estaño-plomo con muy buenas propiedades de deslizamiento con 70 % Cu, 20 % Pb, 5 % Sn, 3 % Zn, 2 % Ni, resistencia a la tracción de 200 N/mm ² .
	G-Cu Pb 22 Sn: DIN 1705, DIN 1714, DIN 1716; aleación bronce de estaño-plomo, para cojinetes fuertemente sollicitados con elevadas presiones superficiales con muy buenas propiedades de deslizamiento con 70 % Cu, 20 % Pb, 5% Sn, 3 % Zn, 2 % Ni, resistencia a la tracción de 220 N/mm ² .
	GD- ZN Al 4: aleación de fundición fina de cinc por inyección con buena estabilidad dimensional; precisión alcanzable +0,02 mm en piezas de hasta 15 mm de espesor de pared con 95 % Zn, 4 % Al, 0,6 % Cu, 0,4 % Mg, resistencia a tracción de 250 N/mm ²
	Cu Zn 31 Si: DIN 17660, aleación maleable de latón para sollicitación de deslizamiento incluso para cargas fuertes con 68 % Cu, 31 % Zn, 1 % Si, resistencia a tracción de 360 a 600 N/mm ² .

Tabla 2. Elementos de fabricación comunes para las partes del motor (continuación).

Cubierta o cuerpo de la bomba de combustible	GD-Zn Al 4: DIN1743, Aleaciones de fundición fina de cinc por inyección con una buena estabilidad dimensional, precisión alcanzable +- 0,02 mm en piezas de hasta 15 mm de espesor de pared, 95 % Zn, 4 % Al, 0,6 % Cu, 0,4 % Mg, resistencia a la tracción de 250 N/mm ² .
	GD-Zn Al 4 Cu 1: DIN 1743, Aleaciones de fundición fina de cinc por inyección con una buena estabilidad dimensional, precisión alcanzable +- 0,02 mm en piezas de hasta 15 mm de espesor de pared, 94,6 % Zn, 4 % Al, 1 % Cu, 0,4 % Mg, resistencia a la tracción de 270 N/mm ² .
Cuerpos de bomba de aceite	GD-Mg Al 9 Zn 1: aleación de magnesio para fusión y coladas a presión con 9 % Al, 0,3 % Mn, 1% Zn, resto Mg, resistencia a tracción de 240 a 280 N/mm ² .
Árbol de levas	St42-1: DIN 17100; Acero de construcción de uso general para solicitaciones altas, 0,25 %C, St: aceros no aleados no provistos para tratamiento térmico, 1: grupo de calidad, 42: resistencia a tracción de 420 a 500 N/mm ² .
	St50-1: DIN 17100; Acero de construcción de uso general para solicitaciones altas, 0,30 %C, St: aceros no aleados no provistos para tratamiento térmico, 1: grupo de calidad, 50: resistencia a tracción de 500 a 600 N/mm ² .
	St60-1: DIN 17100; Acero de construcción de uso general para solicitaciones altas (0,40 %C), St: aceros no aleados no provistos para tratamiento térmico, 1: grupo de calidad, 60: resistencia a tracción de 600 a 720 N/mm ² .
	15 Cr 3: DIN 17210, acero de cementación de baja aleación de 0,15 %C y 0,75 % de Cr; resistencia a tracción de 600 a 850 N/mm ² .
Pernos	Acero especial: clase SAE 5 a 8
Resortes o muelles	55 Si 7: DIN 17200 a 17225, con medio contenido de carbono de 0,55 % C, 1,7 % Si, 0,7% Mn, resistencia a la tracción de 1300 a 1500 N/mm ² .
	65 Si 7: DIN 17200 a 17225, con medio contenido de carbono de 0,65 % C, 1,7 % Si, 0,7 % Mn, resistencia a la tracción de 1300 a 1500 N/mm ² .
	67 Si Cr 5: aleación silicio-cromo de alto contenido de carbono con 0,67 % C, 1,3 % Si, 0,5 % Cr, resistencia a la tracción de 1500 a 1700 N/mm ² .
	50 Cr V 4: aleación cromo-vanadio de alto contenido de carbono con 0,50 % C, 1 % Cr, 0,1 % V, resistencia a la tracción de 1350 a 1700 N/mm ² .
	G-Cu Zn 25 Al 5: DIN 1709, fundición de latón para piezas constructivas fuertemente solicitadas con cargas deslizantes con 65 % Cu, 25 % Zn, 5 % Al 5 % Mg, resistencia a tracción de 750 N/mm ² .
	Cu Zn 31 Si: DIN 17660, aleación maleable de latón para sollicitación de deslizamiento incluso para cargas fuertes con 68 % Cu, 31 % Zn, 1 % Si, resistencia a tracción de 360 a 600 N/mm ² .

Fuente: (Taylor, 2014)

3.3. CONVERSIÓN A GNV

El GNV puede utilizarse en toda clase de vehículos, se pueden encontrar su uso en motocicletas de tres ruedas, vehículos livianos, camionetas, autobuses, montacargas, locomotoras, lanchas y embarcaciones, dependiendo de las restricciones impuestas al uso de GNV según reglamento técnico y normas de seguridad, también hay restricciones técnicas; por ejemplo, capacidad del tanque y facilidad de recarga de combustible en la vía transitada pueden hacer que una conversión sea viable o no lo sea (Lopez rojas, 2008). En el caso de vehículos livianos, la conversión es atractiva para vehículos que funcionan como taxis o en alguna actividad parecida, donde el recorrido es considerable y el ahorro por precio del combustible es evidente.

La conversión a GNV consiste en adecuar e instalar en un motor diseñado para funcionar a gasolina, una serie de sistemas para que pueda funcionar empleando GNV de forma apropiada, este proceso está reglamentado por la superintendencia de industria y comercio colombiana en el documento “reglamento técnico aplicable a talleres, equipos y procesos de conversión a gas natural comprimido para su uso vehicular” para lograr una buena adaptación (Ver figura 4).

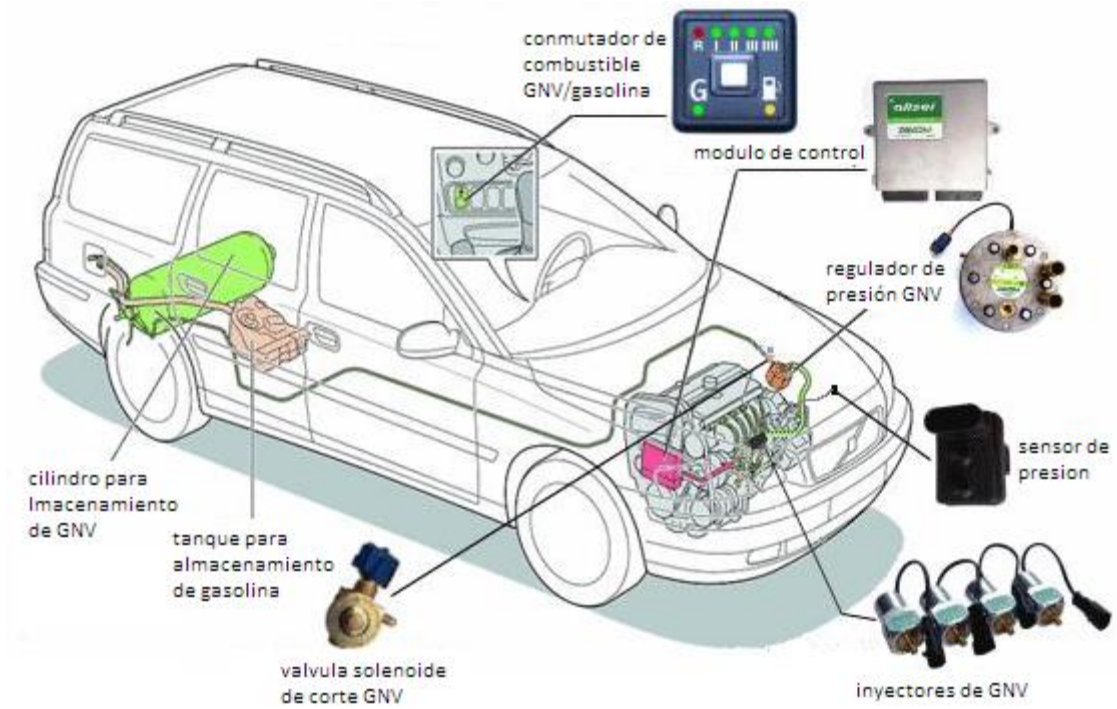
Figura 4. Vehículo convertido a GNV



Fuente: Autor

Los kits de conversión presentan los siguientes elementos: Cilindro(s) para almacenamiento de GNV, sistema conmutador de combustible, válvula de corte maestro, conexión para la recarga del gas, mezclador aire-combustible o Sistema de inyección de combustible gaseoso, módulo de control de encendido que adapta la curva de encendido del vehículo a las características del gas natural, válvula solenoide para el control de la gasolina, líneas de presión adecuadas y el sistema de alivio de presión, ver figura 5.

Figura 5. Kit de conversión a GNV.



Fuente: (LPG my car, s.f.)

Los kits de conversión dependen del tipo de generación a la que corresponda, y el ajuste necesario para convertir un motor que funciona con gasolina a GNV, Ver tabla 3.

Tabla 3. Generaciones de conversión a GNV

Generación	Gasolina	GNV
1ra	Alimentación por carburador	-sistema mecánico de suministro sin retroalimentación
2da	Inyección electrónica de combustible	-sistema mecánico de suministro, control de circuito cerrado -inyección electrónica sin retroalimentación
3ra	Inyección electrónica de combustible multipunto con control de ciclo cerrado	-inyección electrónica con sistema cerrado con retroalimentación
4ta		-sistema OBD (diagnostico a bordo)
5ta		-inyección de gas secuencial electrónica

Fuente: Elaboración Propia

Los kits de última generación para conversión de vehículos a GNV bi-combustible, interactúan con el microprocesador y sistemas de control del motor, para optimizar la dosificación de GNV en función de la potencia y emisiones; es un sistema de lazo cerrado (Lopez rojas, 2008).

3.3.1 particularidades del funcionamiento del motor a gas natural.

Al convertir a GNV un motor que está diseñado para funcionar con gasolina existen algunos aspectos en la operación del mismo que se deben tener en cuenta:

La Ignición: El GNV es un combustible que posee una mayor temperatura de ignición que la gasolina. Esto es producto del octanaje del combustible.

Mientras más elevado el combustible tiene mejores propiedades antidetonantes: Premium 97 octanos, sin plomo 98 octanos, gas licuado de petróleo 102 octanos, gas natural: 130 octanos.

Efecto aislante: La mezcla aire-GNV eléctricamente es más aislante que la mezcla aire-gasolina, por lo que es necesaria una mayor tensión eléctrica en la bujía para que la chispa pueda saltar e inflamar la mezcla. La tensión que hace posible que la corriente circule entre los electrodos de las bujías luego de producida la ruptura también debe ser mayor, esto afecta el tiempo de quemado, dado que la tensión de encendido siempre debe ser mayor en el motor que funciona a GNV. Se recomienda el apagado y encendido de los autos convertidos a GNV usando gasolina.

El avance: La inflamación del GNV es más lenta que la de gasolina, por lo que eléctricamente, se adelanta la chispa para que comience a inflamarse antes, y así, el cilindro no empiece a bajar cuando aún la mezcla no este encendida (perdida de potencia y trabajo útil)

Se recomienda un avance de 0° en ralentí y con el motor caliente +6° al giro de la máxima potencia (dato que informa el fabricante).

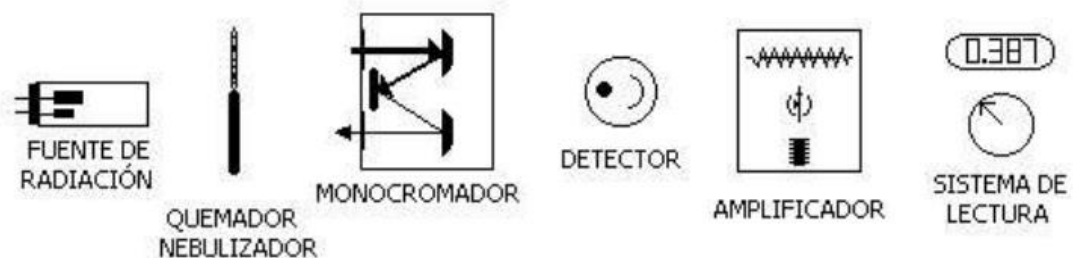
Las bujías: las bujías se desgastan a medida que saltan chispan entre sus electrodos, se recomienda mantener en buen estado y utilizar las recomendadas por el fabricante. Para evitar problemas de arranque.

3.4. ESPECTROSCOPIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA (EAA)

La espectroscopia de absorción atómica de flama (FAAS) es de los métodos atómicos actuales más utilizados debido a su sencillez, efectividad y costo relativamente bajo. Se

trata de una técnica que emplearon originalmente en 1995 Walsh en Australia y Alkemade y Milataz en Holanda. La EAA tiene como fundamento la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores. Los componentes instrumentales de un equipo de espectrofotometría de absorción atómica se muestran en la figura 6. (Universidad autonoma de Chihuahua)

Figura 6. Componentes del espectrofotómetro de adsorción atómica.



Fuente: (Universidad autonoma de Chihuahua)

Ley de Lambert- Beer: indica cuantitativamente la forma en que el grado de atenuación depende de la concentración de las moléculas absorbentes y de la longitud del trayecto en el que ocurre la absorción.

$$T = \frac{P}{P_0} \quad \text{Ec 1}$$

Absorbancia: la absorbancia A de una solución se relaciona con la transmitancia de manera logarítmica. Se observa que se reduce la transmitancia a medida que aumenta la absorbancia de la solución.

$$A = -\log T = \log \frac{P_0}{P} \quad \text{Ec 2}$$

(Skooh, West, Holler, & Crouch)

3.5. DESGASTE

La norma ASTM G40 (Terminología estándar relacionada con desgaste y la erosión) define el desgaste como la pérdida superficial de material en un objeto. En general, los sistemas de ingeniería implican el movimiento relativo entre componentes fabricados a partir de metales y no metales, según esta misma norma se han identificado tres tipos principales de desgaste, como sigue:

Abrasivo: Existen dos tipos; de dos cuerpos y la abrasión de tres cuerpos; la abrasión de dos cuerpos se refiere a superficies que se deslizan, donde un material más duro causa desprendimiento sobre otro. La abrasión de tres cuerpos es cuando partículas (contaminantes) entre las dos superficies retiran material de una o ambas áreas de contacto.

Mientras que la lubricación es imprescindible, los aditivos en el mismo pueden reaccionar con el metal, creando una fina monocapa de contaminantes, que hacen importante la selección de lubricación adecuada para reducir el desgaste del equipo.

Adhesión: En este tipo de desgaste la compatibilidad de enlace intermolecular de los materiales es importante, haciendo que las piezas se peguen entre sí, causando incluso que

se vuelvan una sola soldada en frío. Al romperse de nuevo el enlace parte del material arrancado se transfiere a la superficie del otro.

Corrosivo: El desgaste por corrosión es el resultado de ácidos y sustancias químicas generadas en un proceso, que atacan las superficies de los materiales. La principal característica de desgaste corrosivo es picadura.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. ACTIVIDADES DE PREPARACIÓN PRELIMINAR DEL VEHÍCULO

Se realizó cambio de aceite completo, filtro de aceite, filtro de aire y bujías a los vehículos seleccionados para la recolección de muestras, con el fin de evitar sesgo en los datos debido a la acumulación de elementos en los mismos, y la presencia de contaminantes atmosféricos que también pueden aumentar el desgaste (polvo y tierra por filtros de aire en mal estado.)

Se verificó el motor para garantizar un buen funcionamiento del mismo y cumplimiento de los requerimientos establecidos por el fabricante.

Se utilizó como lubricante aceite comercial Terpel Oiltec Tergas 20w50 para los vehículos convertidos a GNV y Terpel Olitec 20w50 Titanio para los que funcionan con gasolina.

4.2. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

El cambio de aceite motor en la flota de taxis de servir se realiza cada seis mil kilómetros, cuyo control se lleva a cabo mediante una plantilla en Excel, desarrollada por los ingenieros de esta empresa, que notifica cuando esta próximo un vehículo para ser intervenido, los conductores fueron capacitados en una reunión general para que utilizaran gasolina en el encendido y apagado de los vehículos a GNV, que es lo recomendado para minimizar el desgaste en los mismos en estas periodos de funcionamiento.

La recolección de muestra es uno de los factores más importantes para llevar a cabo la medición por medio de cualquier técnica para análisis de aceite, y muy pocas veces tenido en cuenta:

En cada recolección de la muestra de aceite se procedió de la siguiente manera:

Los vehículos después de estar estacionado durante una hora se colocan a funcionar durante 2 minutos, tiempo estimado suficiente para que los sistemas se estabilicen y las partículas se distribuyan en todo el aceite, de modo que se cuente con una concentración de partículas por flujo de aceite uniforme.

Se limpió el tapón del Carter por donde sale el aceite, así como la verificación de que el recipiente de recolección cumpla con las condiciones para evitar posibles contaminaciones externas.

Se levantó el carro con un gato hidráulico para mejor comodidad posiciones óptimas de trabajo.

Se colocó un recipiente debajo del vehículo y luego, con una llave se remueve el tapón del Carter por donde se evacua el aceite, una vez se ha vaciado aproximadamente la mitad del aceite se toma la muestra con el recipiente para toma de muestra durante el drenaje de aceite usado.

La apariencia del aceite recogido se puede apreciar en la figura 7.

Figura 7. Apariencia del aceite usado.



Fuente: Autores

4.3. TÉCNICA DE MEDICIÓN INDIRECTA DEL DESGASTE

Para el estudio de la velocidad del desgaste se utilizó el análisis de aceite por EAA, para la medición de la velocidad de desgaste se parte del principio que en ausencia de contaminación externa la contaminación del aceite se produce por efecto del desgaste del motor, por lo que la velocidad de contaminación del aceite es igual a la velocidad de desgaste del motor. Para medir elementos de desgaste en el aceite que se utilizó los datos experimentales de concentración de elemento medidas en el aceite obtenida por EAA. Los análisis espectrométricos se realizaron a cada una de las muestras de aceite lubricante.

Se seleccionaron 7 elementos para el estudio comparativo del desgaste, las concentraciones de estos elementos son representativas del comportamiento interno del desgaste en general y los principales componentes del motor sometidos a desgaste: hierro, cobre, aluminio, cinc, sodio, potasio y silicio.

5. METODOLOGÍA

La investigación que se lleva a cabo en este proyecto de grado es de tipo experimental; se toman los resultados de las experiencias en el laboratorio realizadas por EAA a los aceites utilizados en los motores una vez cumplan con los parámetros de operación estipulados, con el fin de hacer un análisis comparativo de desgaste en motores que utilicen combustible a gasolina y GNV.

De acuerdo a las necesidades de la empresa administradora de taxis SERVICAR S.A.S y con datos del software de mantenimiento preventivo se establecen los rangos de operación según el kilometraje recorrido por el vehículo, ver tabla 4, de los 50 vehículos que la empresa tiene operando en la ciudad de Montería gran parte son Chevrolet Spark 724 con una cifra de 40 unidades; el Chevrolet Spark 724 es uno de los autos más vendidos en Colombia con 2.706 unidades en el primer semestre de 2014 y 3.909 unidades registradas el primer semestre de 2015, con una variación de crecimiento de un 43.8 % (Revista Motor, 2015). Esto es amparado por su bajo costo, alta comercialización y diferentes tipos de repuestos homologados con bajo precio. La fiabilidad en la conversión a GNV (tercera generación) es muy común para el tipo de servicio que prestan, porque esta tecnología representa un ahorro en consumo de combustible de hasta un 50 %, lo cual es muy beneficioso teniendo en cuenta los altos recorridos diarios de operación a los que son exigidos. El motor del Chevrolet Spark 724 cumple con todos estos parámetros y lo hacen apto para llevar a cabo el estudio, ya que cuenta con una alta tasa de conversión a GNV, periodos cortos entre cambios de aceite y una condición de operación similar.

Tabla 4. Rangos de kilometraje.

Vehículo	Rango de kilometraje	Tipo de aceite (SAE)	Tipo de aceite (API)	Base
Chevrolet Spark 724	0-100.000	SAE 20w50	API SN	Base lubricante parafínica altamente refinada de grupo II
Chevrolet Spark 724	100.000- 200.000	SAE 20w50	API SN	Base lubricante parafínica altamente refinada de grupo II
Chevrolet Spark 724	200.000- 300.000	SAE 20w50	API SN	Base lubricante parafínica altamente refinada de grupo II

Fuente: Software de mantenimiento SERVICAR

La principal herramienta de laboratorio e indispensable para este trabajo es el espectrofotómetro de absorción atómica, el cual permite identificar y cuantificar la concentración de los elementos (hierro, cobre, aluminio, cinc sodio, potasio y sílice) presentes en los aceites de cada motor una vez han cumplido su periodo de uso, esto se hace en los motores funcionando a GNV y a gasolina, para así poder establecer el desgaste de los elementos sufrido en los motores funcionando con los dos tipos de combustibles. Una vez cuantificada la concentración de cada uno de los elementos presentes en los aceites después de su uso, se procede a hacer una comparación de los resultados obtenidos entre los elementos y concentraciones presentes en los aceites después de su periodo de uso, teniendo en cuenta que estos factores son los determinantes para establecer la diferencia en el desgaste sufrido en los motores funcionando con cada uno de los dos combustibles seleccionados para las pruebas, a partir de diversas fuentes de información se establece una relación entre los elementos cuantificados y las principales piezas del motor que contienen los mismos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGÍA	RESULTADO
<p>Establecer los elementos a cuantificar teniendo en cuenta el espectrofotómetro de absorción atómica, el patrón de calibración, la composición del aceite lubricante y los elementos presentes en las piezas mecánicas lubricadas para el tipo de motor específico, que utilice combustible de gasolina y GNV.</p>	<p>Con el fin de determinar los elementos a cuantificar es necesario realizar una consulta en fuentes primarias y secundarias, de los principales elementos que componen las piezas mecánicas del motor. Confrontando, con las concentraciones de elementos que componen el tipo de aceite lubricante y las que posee el patrón de calibración estándar internacional del E.A.A. Los elementos que cumplan dichas restricciones serán cuantificados en el E.A.A siempre y cuando se cumpla con los límites operacionales que exige el fabricante del equipo. Para así obtener concentraciones confiables en ppm.</p>	<p>Se analizó la información y los limitaciones con los elementos correspondientes al espectrómetro de absorción atómica, el patrón de calibración y las piezas del motor, para establecer cuales elementos son posible cuantificar, se obtuvo que los elementos Aluminio, Cobre, Hierro, Sodio, Silicio, Cinc y Potasio, se pueden cuantificar, los tres primeros correspondientes a partes principales del motor, los dos siguientes correspondientes a contaminantes del motor y los dos últimos correspondiente a aditivos de los aceites lubricantes. Ver tabla 5</p>

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGÍA	RESULTADO
<p>Determinar el tamaño de muestra de aceite automotor con el número de réplicas necesarias que permitan establecer variables comparativas confiables en los resultados obtenidos.</p>	<p>Por medio de un análisis estadístico de diseño muestral se establecerá el tamaño de cada muestra de aceite automotor a analizar y el número de réplicas necesarias.</p>	<p>Se determinó un tamaño de la muestra de 9 para autos funcionando a GNV y 8 funcionando a gasolina, se brinda una confiabilidad del 95 % y un error del 5 %.</p> <p>Ver página 61.</p>
<p>Realizar la preparación de muestras y posterior ensayo con el espectrofotómetro de absorción atómica del laboratorio de toxicología y gestión ambiental de la universidad de Córdoba, obteniendo</p>	<p>Se realiza la toma de muestras y se diluyen en un solvente a una concentración según el protocolo de laboratorio, se prepara el patrón de medición de acuerdo al método de calibración. Se realiza el ensayo de E.E.A obteniendo datos de la concentración de los elementos en partes por millón (ppm).</p>	<p>Se realizó la preparación de las muestras, se diluyeron a una concentración de 1:10, según protocolo de laboratorio, dichas muestras preparadas se enviaron al laboratorio para ser cuantificadas, los datos de la cuantificación fueron los que se muestran en la tabla 7.</p>

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	METODOLOGÍA	RESULTADO
y procesando los datos de las concentraciones para cada elemento.		
Comparar y analizar los resultados de las concentraciones de elementos presentes en los aceites lubricantes de los motores que utilicen combustible de gasolina y convertidos a GNV, identificando cual presenta mayor desgaste.	Se comparan los datos numéricos obtenidos de las concentraciones para cada elemento y se analizara la diferencia que se obtuvo entre los motores funcionando a gasolina y GNV para los rangos de operación analizados. teniendo en cuenta la composición de las piezas mecánicas lubricadas.	Se procesaron los datos de la cuantificación para obtener la velocidad de desgaste del motor funcionando con cada tipo de combustible, en general las tasas de crecimiento del desgaste fueron mayores en el motor funcionando a gasolina, ver tabla 15.

6. RESULTADO Y DISCUSIÓN

6.1. SELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS A CUANTIFICAR

La EAA nos permite cuantificar una gran cantidad de elementos (68 elementos), entre estos se encuentran metales, no metales y metaloides, los elementos que hacen parte de las piezas del motor en su mayoría están en estos exceptuando algunos elementos como el azufre, que generalmente son elementos de bajo porcentaje en las aleaciones, y otros que aunque se pueden medir por la técnica de EAA, no se cuenta con algunos insumos, como pimplinas de gases indispensable para medirlos, señalados en color amarillo en la tabla 5, al igual que la medición depende de la calibración del equipo, la cual se hace con el patrón de calibración; este permite generar una curva de calibración en la cual la ley de Lambert-Beer se cumple para un elemento a una longitud de onda utilizada (relación lineal entre concentración y absorbancia) para así a partir de los datos medidos de absorbancia y transmitancia calcular la concentración de dicho elemento en las muestras que se vayan a analizar posteriormente, se elige la longitud de onda de máxima absorbancia puesto que es la que proporciona mayor sensibilidad y menor error (mayor pendiente de la recta), se cuenta con un patrón de calibración multielemento Conostan S-21 a 500ppm (de los cuales 14 son representativos de las partes del motor), lo cual es muy bueno, también hay que tener en cuenta que el patrón de calibración utilizado es un patrón de calibración internacional lo cual significa que es muy confiable para las mediciones, además de que mide hasta 500ppm de concentración de los elementos en las muestras, el cual es un valor muy alto que no se suele encontrar en análisis de aceites y asegura que se trabaja en un rango de concentraciones cuantificables amplio.

Tabla 5. Identificación de los elementos a cuantificar

		ELEMENTOS DEL ESPECTROMETRO																										
		Al	As	Cd	Ca	Zn	Co	Cu	Cr	Sn	Fe	La	Mg	Mn	Nd	Ni	Au	Pb	Si	Na	Pd	K	Ag	Pt	Ti	V	W	
ELEMENTOS DE PARTES	Aluminio	■																										
	Arsénico																											
	Azufre																											
	Cinc					■																						
	Cobre						■																					
	Cromo							■																				
	Estaño								■																			
	Fosforo																											
	Hierro										■																	
	Magnesio												■															
	Manganeso													■														
	Molibdeno																											
	Níquel																■											
	Plomo																		■									
	Potasio																							■				
	Silicio																			■								
	Sodio																				■							
	Vanadio																											
Wolframio																												
		Al	Ba	B	Ca	Zn	Ca	Cu	Cr	Sn	Fe	P	Mg	Mn	Mo	Ni	Ag	Pb	Si	Na	Ti	K	V					
		ELEMENTOS DEL PATRON DE CALIBRACION																										
		<div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #0056b3; margin-right: 5px;"></div> elementos se pueden medir </div> <div style="display: flex; align-items: center; gap: 10px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #ffff00; margin-right: 5px;"></div> elementos no se pueden medir por falta de insumos para la cuantificación </div>																										

Fuente: autor

6.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO Y SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LA MUESTRA

Este diseño muestral consiste en tomar rangos de kilometraje de acuerdo a datos históricos recomendados por la empresa, ver Tabla 4, volver cada rango de kilometraje en un estrato para que sea independientes y en cada uno de ellos se seleccionan kilometrajes específicos

de manera aleatoria, para luego tomar muestras de aceite que se le cambiara un día en específico a cada vehículo.

Para este estudio se tomó la población total de los taxis que funcionan a gasolina; 8 vehículos. De la población de taxis que operan con GNV (42 en total) se calculó la muestra de acuerdo al siguiente análisis estadístico:

$$n = \frac{k^2 p \cdot q \cdot N}{e^2(N-1) + k^2 p \cdot q} \quad \text{Ec 3}$$

Donde:

N = Tamaño de la población.

e = Error muestral deseado

p = Proporción que posee la característica de estudio

q = Complemento de p

n = Tamaño de la muestra.

k = Constante que depende del nivel de confianza que asignemos de acuerdo a la tabla 6.

Tabla 6. Constante para nivel de confianza.

K	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2,00	2,58
Nivel de confianza	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,96	0,99

Fuente: (Devore, 2008)

Con un margen de error del 5 %, un nivel de confianza del 95 %, un $p=0,993$ y $q=0,007$, se encontró que la muestra recomendada es de 9 vehículos para cada tipo de combustible, es decir, 9 que funcionen con gasolina y 9 que operen a GNV.

Por condiciones del parque automotor y de los rangos de kilometraje sugerido se seleccionaron 8 vehículos a gasolina y 9 que operan con GNV manteniendo la confiabilidad del 95 % ya que se trata de dos lotes de muestras.

6.3 PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y OBTENCIÓN DE LAS CONCENTRACIONES EN PPM PARA CADA ELEMENTO.

Antes de llevar las muestras al espectrofotómetro se tomó con la pipeta una alícuota de 10 ml llevándose hasta 100 ml en los balones aforados con el solvente xileno obteniendo una relación de dilución de 1:10

Estas diluciones se hacen con el objeto de tener una buena cantidad de muestra diluida para el análisis de las mismas, sabiendo que en un buen estudio químico analítico la dilución debe ser homogénea y con la misma cantidad para cada proceso, con el fin de obtener resultados confiables en cada una de las muestras.

Al analizar cada muestra en el espectrofotómetro se obtuvieron las concentraciones de los metales objeto de estudio como se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Concentraciones de elementos de estudio en los aceites usados.

	Placa	X inicial (km)	X final (km)	Δx (km)	Concentración en ppm						
					Aluminio	Hierro	Cobre	Sodio	Cinc	Potasio	Silicio
Gasolina	UQD819	77775	83785	6010	6,08	55,90	4,91	11,21	13180,41	10,55	7,66
	UQD440	35378	41337	5959	6,12	56,03	5,93	11,05	13183,85	10,92	5,75
	UQE718	110694	117004	6310	6,15	61,49	4,96	10,94	13180,63	10,41	11,34
	UQD829	108876	115232	6356	6,28	50,44	5,83	12,41	13183,34	11,00	8,22
	UQC123	102537	108567	6030	6,11	50,03	5,01	9,57	13186,03	10,50	4,29
	UQC723	278979	285339	6360	6,18	63,99	5,54	12,28	13187,31	10,69	11,90
	UQD386	240171	246543	6372	6,23	50,58	6,03	6,57	13187,72	10,56	8,41
	UQE807	216531	222813	6282	6,17	60,29	5,68	10,63	13187,69	10,51	4,49
Convertidos a GNV	UQE854	55114	61212	6098	5,80	45,12	4,10	12,03	13180,50	10,93	9,57
	UQD555	39415	45440	6025	5,70	46,46	4,17	7,94	13180,38	10,99	7,82
	UQD786	6049	12024	5975	5,77	42,53	3,79	10,53	13181,45	10,72	5,29
	UQE550	191659	197800	6141	5,82	38,27	4,25	9,77	13187,76	10,98	15,64
	UQD740	191257	197380	6123	5,67	48,69	4,46	12,38	13186,71	10,93	14,13
	UQE646	116880	122990	6110	5,73	44,87	4,48	10,10	13182,75	10,82	11,32
	UQD811	287296	293525	6229	5,79	44,15	4,36	9,15	13183,06	10,96	19,90
	UQE054	272649	279146	6497	5,81	48,61	4,59	10,39	13187,67	10,84	18,63
	UQD911	255658	261992	6334	5,84	45,28	4,69	10,92	13184,74	10,72	17,36

Fuente: Autores

6.4 COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS CONCENTRACIONES DE ELEMENTOS PRESENTES EN LOS ACEITES LUBRICANTES.

Utilizando el comando de análisis de datos de Excel se hace un estudio estadístico a los valores obtenidos de las concentraciones para determinar su ajuste a una curva con ecuación matemática y poder comparar los resultados.

Los resultados se resumieron en dos tablas (tabla 8 y tabla 9) debido a las tendencias parecidas que se encontraron en los elementos aluminio, hierro y cobre por ser los elementos más representativos en el desgaste, ya que no se encuentran como aditivos o contaminantes en el aceite.

Tabla 8. Parámetros estadísticos de los elementos de desgaste.

Parámetro estadístico	Aluminio		Hierro		Cobre	
	Gasolina	GNV	Gasolina	GNV	Gasolina	GNV
Correlación de Pearson	0,72	0,76	0,21	0,36	0,34	0,78
Coefficiente de determinación	0,51	0,74	0,05	0,13	0,12	0,61
Coefficiente de determinación corregido	0,43	0,70	-0,11	0,00	-0,03	0,55
Desviación estándar	0,75	0,53	187,30	161,06	180,04	108,28

Fuente: Autores

Tabla 9. Parámetros estadísticos de los elementos contaminantes y aditivos.

Parámetro estadístico	Sodio		Cinc		Potasio		Silicio	
	Gasolina	GNV	Gasolina	GNV	Gasolina	GNV	Gasolina	GNV
Correlación de Pearson	0,07	0,09	0,35	0,62	0,04	0,18	0,58	0,83
Coefficiente de determinación	0,00	0,01	0,12	0,39	0,00	0,03	0,34	0,69
Coefficiente de determinación corregido	-0,16	-0,13	-0,02	0,30	-0,16	-0,11	0,23	0,64
Media	11,46	9,25	13184,62	13183,89	10,64	10,88	7,76	13,30
Desviación estándar	1,86	1,37	3,06	2,46	0,23	0,11	156,16	96,53

Fuente: Autores.

Los resultados obtenidos para los metales de desgaste muestran un coeficiente de correlación menor que 0,8 en todos los casos, indicando un grado de asociación entre las variables demasiado débil para una tendencia lineal y fuerte para un modelo exponencial, que es el sugerido por el modelo analítico planteado.

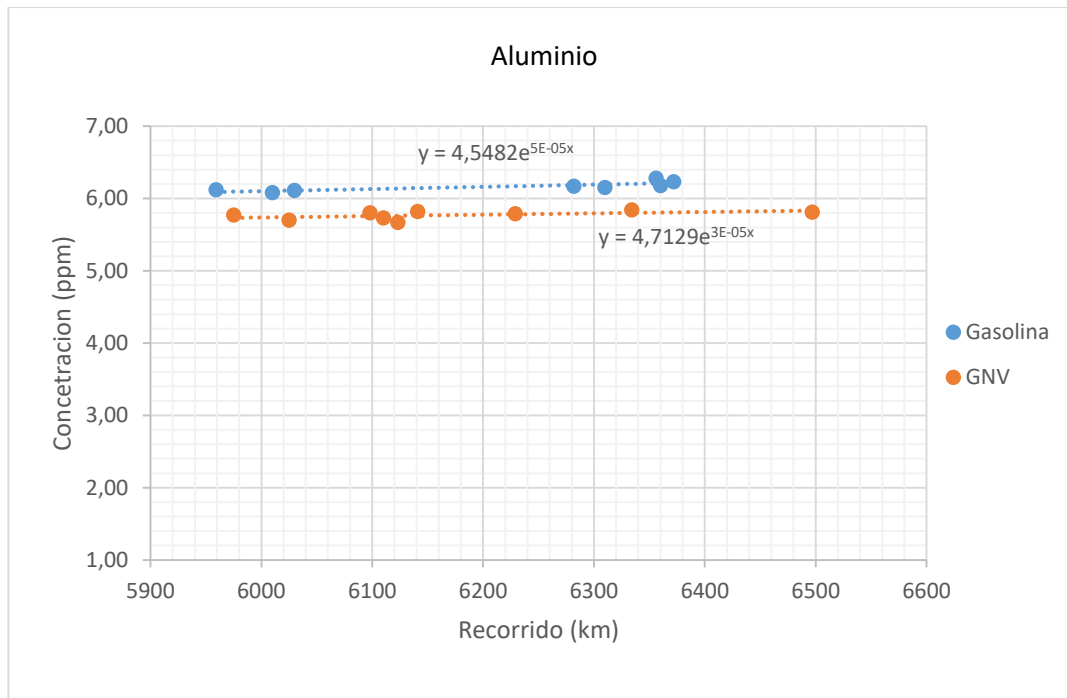
Se aplica un modelo de regresión exponencial de la forma $y = ae^{bx}$ donde las constantes a y b se determinan usando las herramientas estadísticas de Excel obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 10 y en la figura 8, figura 9 y figura 10.

Tabla 10. Parámetros de la regresión para metales de desgaste.

constantes	Aluminio		Hierro		Cobre	
	Gasolina	GNV	Gasolina	GNV	Gasolina	GNV
A	4,55	4,71	28,892	17,10	1,93	0,63
B	0,00005	0,00003	0,00010	0,00020	0,00020	0,00030

Fuente: Autores.

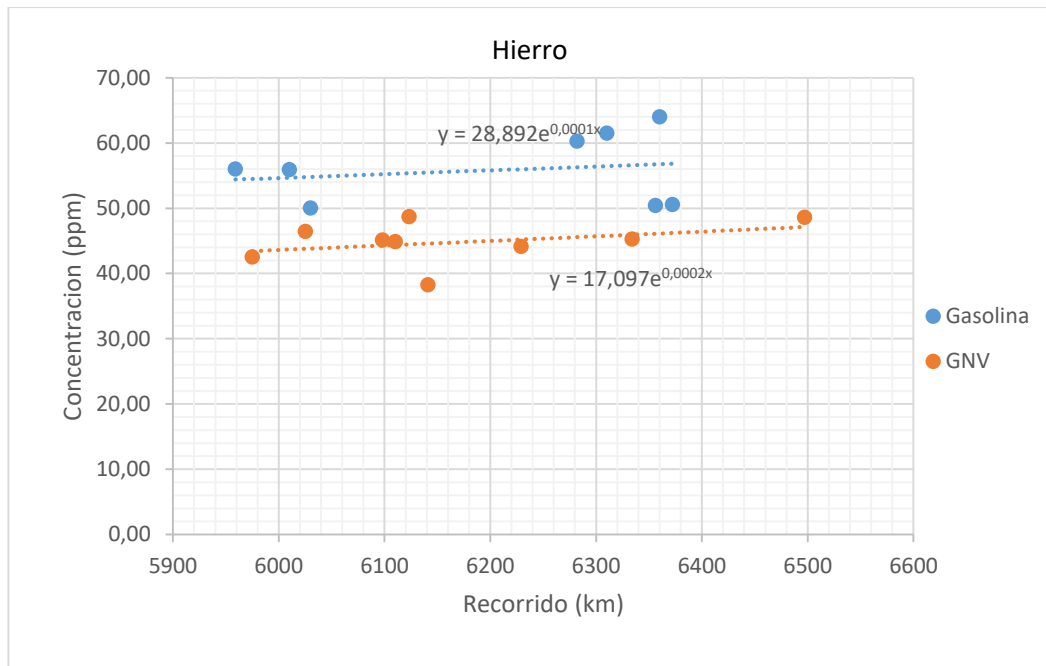
Figura 8. Concentración de aluminio vs kilometraje.



Fuente: Autores.

Se observa en la figura 8, que los resultados de las concentraciones, para el elemento aluminio en el aceite, se ajustan a la tendencia exponencial en la zona donde euler se acerca a la asíntota horizontal, que podría indicar la concentración de equilibrio dinámico este elemento.

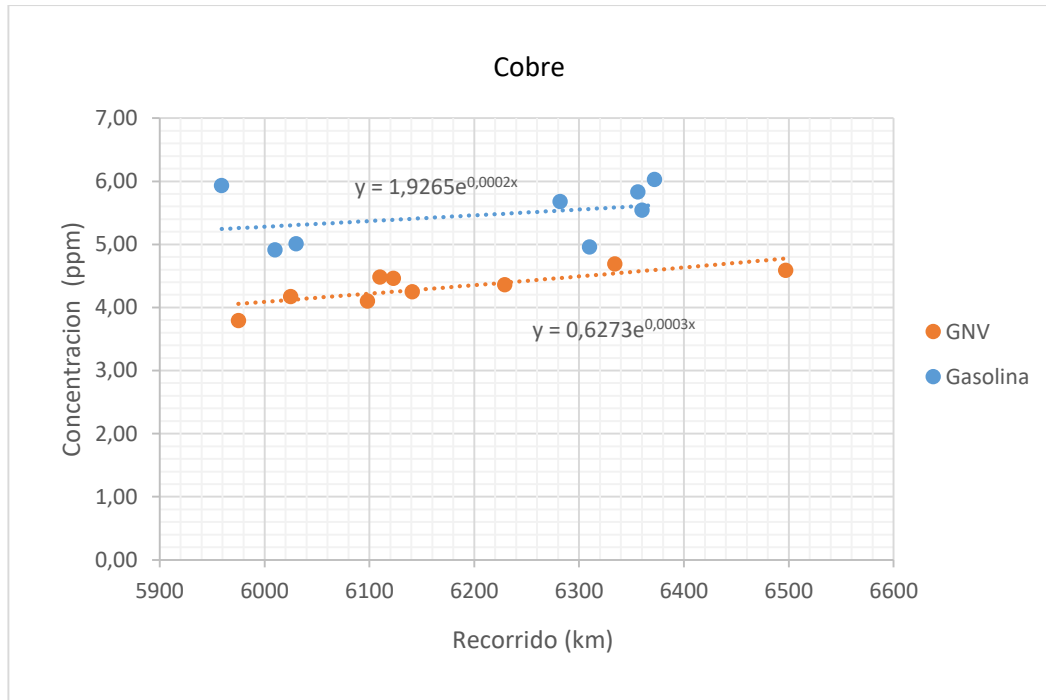
Figura 9. Concentración de Hierro vs kilometraje.



Fuente: Autores.

En observa en la figura 9, que los resultados de las concentraciones, para el elemento hierro en el aceite, se ajustan a la tendencia exponencial en la zona donde euler se acerca a la asintota horizontal, que prodria indicar la concentracion de equilibrio dinamico este elemento.

Figura 10. Concentración de cobre vs kilometraje.



Fuente: Autores.

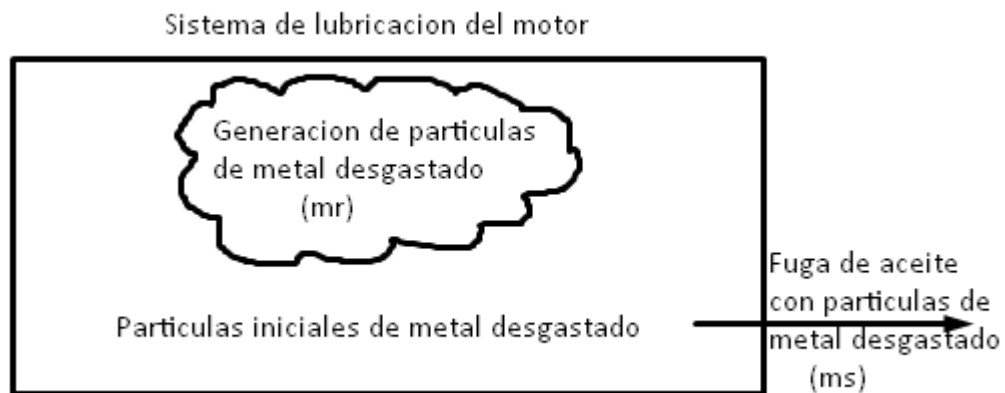
De igual forma se observa en la figura 10, que los resultados de las concentraciones, para el elemento Cobre en el aceite, se ajustan a la tendencia exponencial en la zona donde eler se acerca a la asintota horizontal, que prodria indicar la concentracion de equilibrio dinamico este elemento.

Para una mejor comprensión de los resultados graficados, se utilizó la tendencia exponencial para inferir que debe existir una tasa de velocidad por unidad de kilómetro recorrido a la que se van desprendiendo las partículas de metal que se traduce en el desgaste de las piezas y el aparente equilibrio dinámico entre la velocidad de desgaste y la velocidad de pérdidas de material metálico que se manifiesta en la tendencia de los datos a acercarse a la asíntota horizontal de una exponencial. Por esto se desarrolló un balance de masa donde es posible obtener una ecuación que describa el comportamiento de dicho material a medida que el automóvil opera.

6.4.1 Desarrollo de un modelo matemático considerando una tasa constante de desprendimiento de partícula (desgaste metálico).

Para un mejor entendimiento del comportamiento en el desgaste de las piezas internas del motor se desarrolla un modelo con base a los lineamientos planteados por (Diprima, 2000) para aplicaciones de las ecuaciones diferenciales. Así, se considera el sistema de lubricación como un volumen de control definido, tal como se ilustra en la figura 11, donde las tasas de desprendimiento de partículas metálicas son constantes.

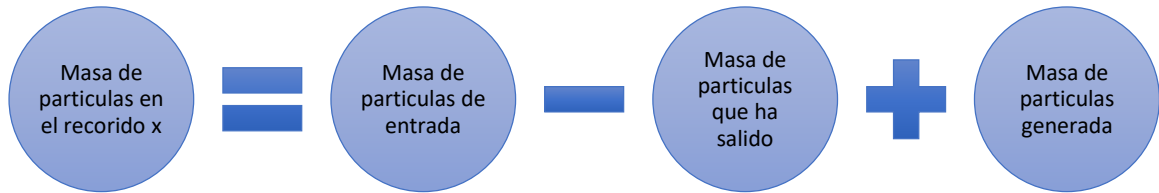
Figura 11. Balance de masas para el sistema de lubricación del motor.



Inicialmente se considera el sistema de lubricación totalmente cargado de aceite con un volumen V_0 , en este se encuentran diluidas partículas de metal desgastado C_0 producto de la concentración del aceite anteriormente cambiado; a medida que el auto empieza un nuevo recorrido se empieza a generar un crecimiento en la concentración de los metales desgastados $C(x)$ a una tasa constante k y un decaimiento en el volumen debido a fugas o consumo de aceite por combustión en el motor a un caudal Q , de este modo, en el modelo las variables se valoran en función del espacio recorrido, así, si medimos la cantidad de partículas de metales de desgaste en el recorrido x y volvemos a hacerlo

después de pasado cierto recorrido Δx , el principio de conservación de la masa establece que se da el siguiente balance:

Figura 12. Balance de masas.



Fuente: Autores

O bien,

$$\frac{dm}{dx} = \dot{m}_e - \dot{m}_s + \dot{m}_r \quad \text{Ec 4}$$

Donde

$$\begin{cases} \frac{dm}{dx} = \text{Acumulación de masa} \\ \dot{m}_e = \text{Cantidad de metales añadidos por unidad de espacio recorrido} \\ \dot{m}_s = \text{Cantidad de metales en fuga por unidad de espacio recorrido} \\ \dot{m}_r = \text{Cantidad de metales generados por unidad de espacio recorrido} \end{cases}$$

De acuerdo al modelo, se parte del hecho de que el motor está totalmente cargado y no se añade más aceite hasta cumplir un recorrido de aproximadamente seis mil kilómetros de modo que $\dot{m}_e = 0$

Teniendo en cuenta que la concentración de materia en todos los puntos es la misma con

unidades de $\left[\frac{\text{masa}}{\text{volumen}} \right]$, la cantidad total de materia presente en un recorrido x es

$m = c(x) \cdot V$, donde $c(x)$ representa la concentración de partículas de metal desgastado en

el recorrido x , entonces:

$$\frac{dm}{dx} = \frac{d[C(x) \cdot V]}{dx} \quad \text{Ec 5}$$

El flujo de salida de materia es el producto del caudal de salida Q_s multiplicado por la concentración en el punto de salida. Como se supone que la concentración es homogénea dentro de todos los puntos del volumen de control, entonces:

$$m_s = Q_s \cdot C(x) \quad \text{Ec 6}$$

El termino generación se refiere a la concentración añadida debido a la pérdida de materia producido en las piezas del motor causada por la fricción entre ellas o por alguna reacción química. La cantidad generada en términos de la concentración viene dada por:

$$\dot{m}_r = \frac{d[C_r(x) \cdot V]}{dx} \quad \text{Ec 7}$$

Como la pérdida de materia (partículas de metal desgastado) es constante

$$\frac{d[C(x)]}{dx} = k ; \text{ Así:}$$

$$\frac{d[C_r(x) \cdot V]}{dx} = kV \quad \text{Ec 8}$$

Por lo tanto, el balance de masa inicial (ecuación 3) se puede transformar en una ecuación diferencial que toma en cuenta las concentraciones en función del espacio recorrido:

$$\begin{aligned} \frac{dm}{dx} &= \dot{m}_e - \dot{m}_s + \dot{m}_r \quad \text{Ec 3} \\ &= \frac{dC(x)}{dx} V = 0 + [-Q_s \cdot C(x)] + kV \text{ o bien;} \end{aligned}$$

$$\frac{dC(x)}{dx} + \frac{Q_s}{V} C(x) = k \quad \text{Ec 9}$$

La ecuación 9, es una ecuación diferencial de primer orden de la clase Bernoulli (Diprima, 2000) con solución particular:

$$C(x) = \frac{k}{Z} + \left(C_0 - \frac{k}{Z} \right) e^{-Z \cdot x} \quad \text{Considerando que en } x=0; C(x)=C_0 \quad \text{Ec 10}$$

Donde C_0 es la concentración inicial y $Z = \frac{Q}{V}$ Ec 11

De acuerdo al modelo matemático desarrollado, usando el balance de masa, la ecuación que rige los resultados del experimento está dada por la ecuación 10:

$$C(x) = \frac{k}{Z} + \left(C_0 - \frac{k}{Z} \right) e^{-Z \cdot x}$$

La ecuación que se obtiene en la regresión exponencial no es más que una variación de esta relación en un intervalo para x . Así:

$$y = a e^{bx} = \frac{k}{Z} + \left(C_0 - \frac{k}{Z} \right) e^{-Z \cdot x}$$

Cuando el valor de x se hace igual a cero se obtiene:

$$C_0 = a$$

Conociendo los valores de:

$C(x)$ = Concentración obtenida del espectrofotómetro.

$C_0 = a$ de la regresión exponencial de los resultados obtenidos.

V_0 = Volumen inicial de aceite = 0,875 gal

Q = Caudal de pérdida de aceite por unidad de kilometro = $\frac{0,25 \text{ gal}}{6000 \text{ m}} = 4,17 \times 10^{-5} \text{ gal/km}$.

(según los datos históricos de la empresa Servicar)

$$z = \frac{Q}{V} = 4,76 \times 10^5$$

Y despejando k de la ecuación 9 se tiene:

$$k = \frac{Z(C(x) - C_0 e^{-Z \cdot x})}{1 - e^{-Z \cdot x}} \quad \text{Ecu 12}$$

Usando la ecuación 12 se calculan los valores de la tasa de desgaste k para cada uno de los metales analizados, el promedio de los valores de k se muestra en la tabla 11.

Tabla 11. Tasa de crecimiento del desgaste.

Combustible	Tasa de crecimiento del desgaste k (ppm/Km)		
	Aluminio	Hierro	Cobre
Gasolina	0,000517053	0,006434403	0,00075459
GNV	0,000419751	0,006010159	0,000720328

Fuente: Autores.

Una vez obtenidos los valores de k, se reemplaza junto con los valores de C_0 , y z en la ecuación 9 para expresar las concentraciones en función del recorrido en cada elemento como se muestra en la tabla 12.

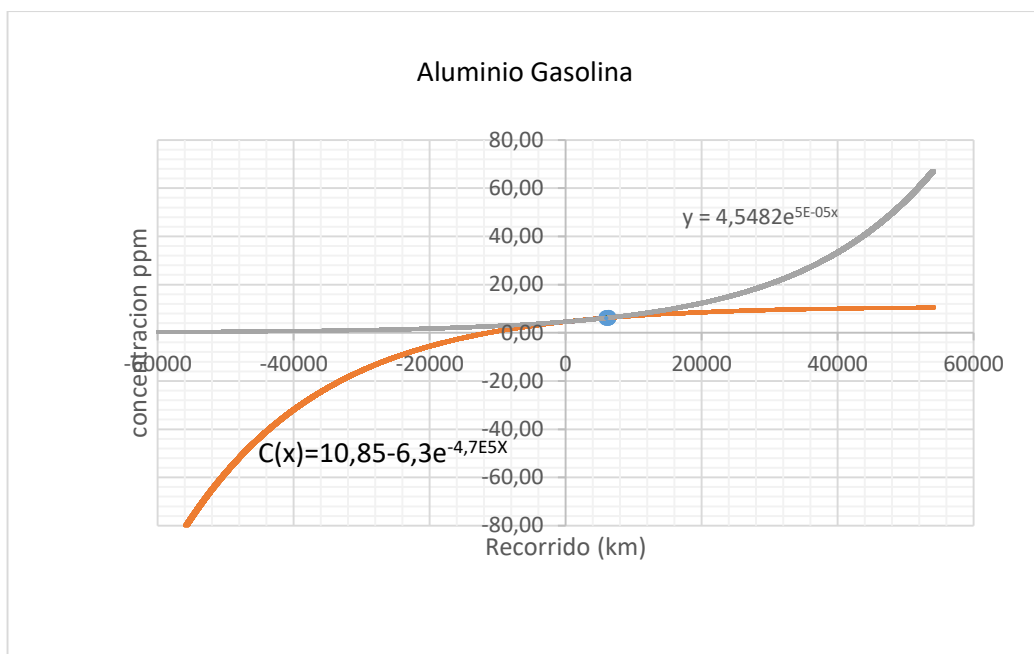
Tabla 12. Ecuación de la concentración en función del recorrido

Combustible	Ecuaciones de C(X)		
	Aluminio	Hierro	Cobre
Gasolina	$C(x) = 1085 - 6,3e^{-4 \times 10^{-5} X}$	$C(x) = 135 - 106e^{-4 \times 10^{-5} X}$	$C(x) = 1585 - 1393e^{-4 \times 10^{-5} X}$
GNV	$C(x) = 8,81 - 4,1e^{-4 \times 10^{-5} X}$	$C(x) = 126 - 109e^{-4 \times 10^{-5} X}$	$C(x) = 1585 - 145e^{-4 \times 10^{-5} X}$

Fuente: Autores.

La figura 13, muestra cómo se relaciona la ecuación 10, hallada según el modelo matemático con la suavización exponencial calculada en Excel en el rango de cero a seis mil kilómetros.

Figura 13. Suavización Exponencial de las concentraciones para el aluminio



Fuente: Autores.

La curva de color naranja, que describe los puntos de la ecuación desarrollada en el modelo, sigue una tendencia con una velocidad de crecimiento mucho menor que la descrita por la ecuación calculada en Excel después de los seis mil kilómetros.

Una vez calculados los valores de k , se puede usar la ecuación 10, para obtener valores corregidos de las concentraciones halladas de manera experimental por el espectrómetro, como se muestra en la tabla 13, esto con el fin de validar el modelo desarrollado mediante el balance de masa y apreciar la fuerte cercanía con los datos hallados por medio del espectrofotómetro.

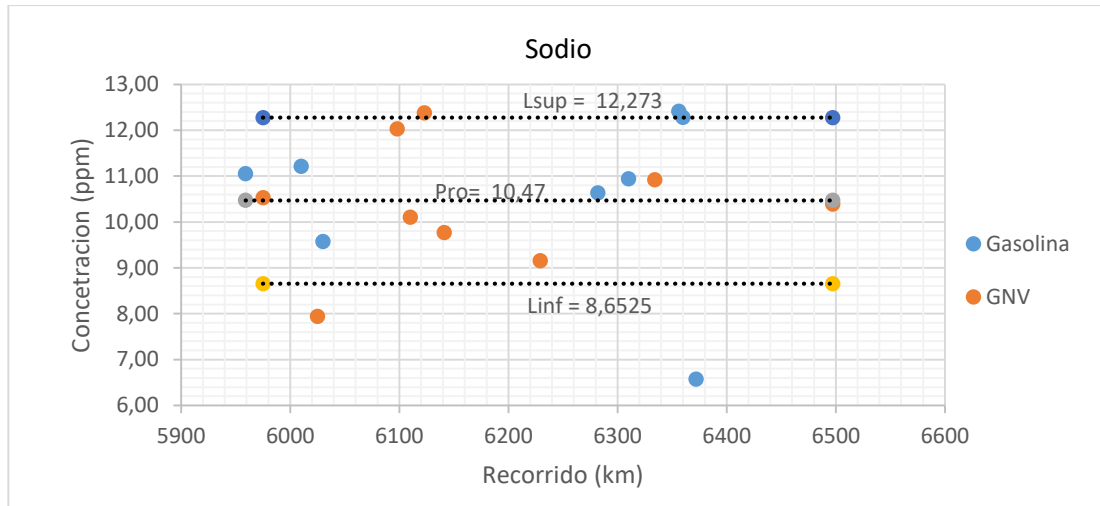
Tabla 13. Concentraciones corregidas de elementos.

	Placa	X inicial (km)	X final (km)	Δx (km)	Concentración Experimental (ppm)			Concentración corregida en ppm		
					Aluminio	Hierro	Cobre	aluminio	Hierro	Cobre
Gasolina	UQD819	77775	83785	6010	6,08	55,90	4,91	6,12	55,33	5,39
	UQD440	35378	41337	5959	6,12	56,03	5,93	6,11	55,14	5,36
	UQE718	110694	117004	6310	6,15	61,49	4,96	6,19	56,46	5,53
	UQD829	108876	115232	6356	6,28	50,44	5,83	6,20	56,63	5,56
	UQC123	102537	108567	6030	6,11	50,03	5,01	6,12	55,41	5,40
	UQC723	278979	285339	6360	6,18	63,99	5,54	6,20	56,65	5,56
	UQD386	240171	246543	6372	6,23	50,58	6,03	6,20	56,69	5,56
	UQE807	216531	222813	6282	6,17	60,29	5,68	6,18	56,36	5,52
Convertidos a GNV	UQE854	55114	61212	6098	5,80	45,12	4,10	5,76	44,60	4,28
	UQD555	39415	45440	6025	5,70	46,46	4,17	5,75	44,31	4,24
	UQD786	6049	12024	5975	5,77	42,53	3,79	5,74	44,12	4,22
	UQE550	191659	197800	6141	5,82	38,27	4,25	5,77	44,77	4,30
	UQD740	191257	197380	6123	5,67	48,69	4,46	5,76	44,70	4,29
	UQE646	116880	122990	6110	5,73	44,87	4,48	5,76	44,65	4,29
	UQD811	287296	293525	6229	5,79	44,15	4,36	5,78	45,11	4,35
	UQE054	272649	279146	6497	5,81	48,61	4,59	5,82	46,13	4,49
	UQD911	255658	261992	6334	5,84	45,28	4,69	5,79	45,51	4,40

Fuente: Autores.

Los datos obtenidos en la tabla 8, muestran medias y errores típicos cercanos con coeficientes de Pearson aproximados a cero, esto se podría deber a que a presencia de sodio y silicio son contaminantes en el aceite, producto de agua y polvo respectivamente y su modelamiento es bastante aleatorio, por lo que la manera mas conveniente para analizarlos es a través de una carta de control $\bar{X}-R$ (Ver figura 14 y figura 15).

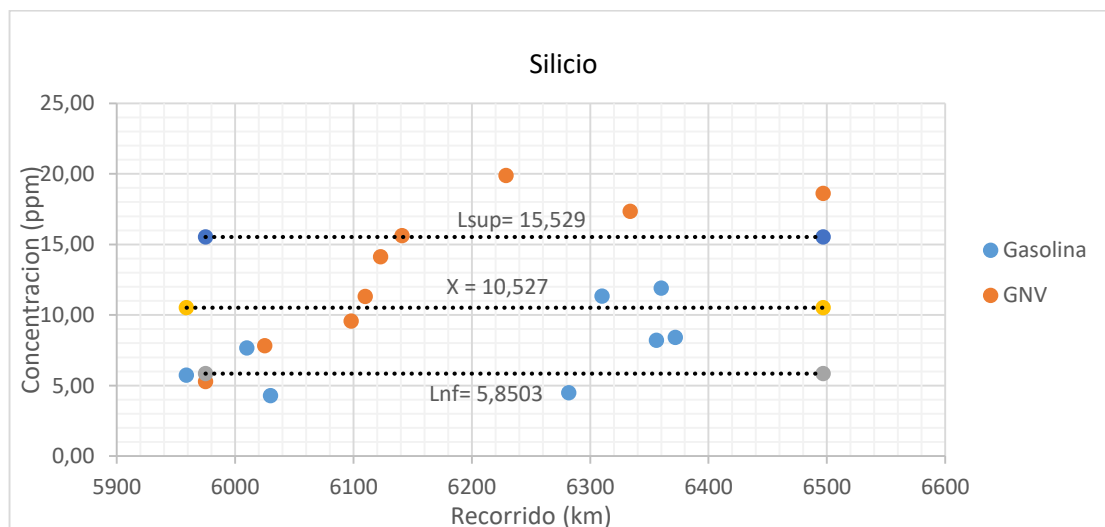
Figura 14. Concentración del Sodio Vs Kilometraje



Fuente: Autores.

En la figura 14, se observa que en general los taxis no cuentan con valores que sobrepasen considerablemente al limite superior estimado para los automoviles en concentracion de sodio, lo cual indica que en ninguno hay presencia considerable de filtracion de agua al motor, ya sea por filtraciones del sistema de refrigeracion o filtros de aire en mal funcionamiento.

Figura 15. Concentración de Silicio Vs kilometraje

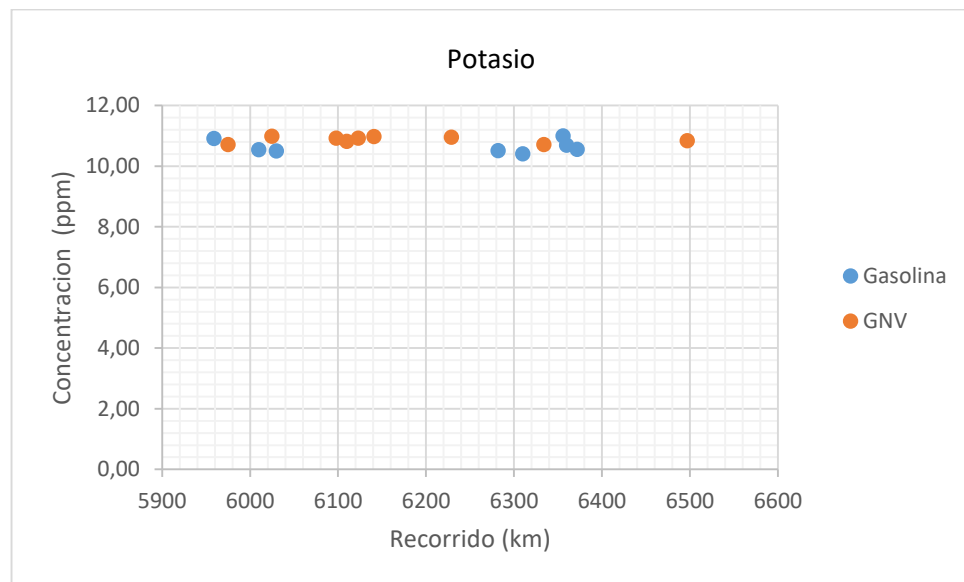


Fuente: Autores.

En la figura 15, se observa que en general los taxis no cuentan con valores que sobrepasen considerablemente al limite superior estimado para los automoviles en concentracion de silicio, lo cual indica que en ninguno hay presencia considerable de filtracion de tierra al motor, ya sea por un sistema de admision en malas condiciones de funcionamiento.

Los resultados obtenidos de las concentraciones de potasio y cinc no muestran mucha variabilidad ya que son elementos aditivos en el aceite.

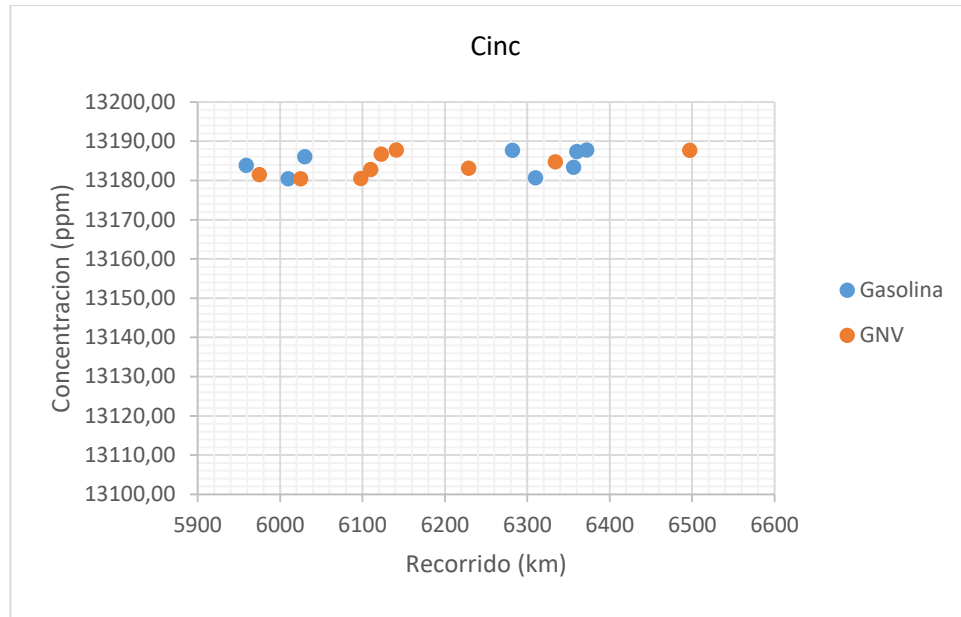
Figura 16. Concentración de Potasio Vs kilometraje



Fuente: Autores.

Ambos aceites tiene potasio como aditivo en un rango de concentracion entre 10 y 12 ppm aproximadamente, lo que indica que tiene un nivel de proteccion similar para este elemento de aditivo.

Figura 17. Concentración de cinc Vs kilometraje



Fuente: Autores.

Ambos aceites tiene cinc como aditivo en un rango de concentracion entre 13.180 y 13.190 ppm aproximadamente, lo que indica que tiene un nivel de proteccion similar para este elemento de aditivo.

Análisis cuantitativo del aluminio: este elemento presenta un desgaste mayor cuando el motor se encuentra funcionando con gasolina, la relación entre el desgaste entre estos dos es de 1,23 mayor en el de gasolina.

Análisis cuantitativo del cobre: la tasa de crecimiento de desgaste en el motor a gasolina fue 4,76 % mayor que en el motor a GNV.

Análisis cuantitativo de hierro: En este elemento la tasa de crecimiento de desgaste fue mayor en el motor funcionando a gasolina, en un 7,06 %. El alto contenido de hierro puede presentarse por posible desgaste en engranes, árbol de leva, seguidores, tren de válvula o cilindros.

Análisis cuantitativo de silicio: El elevado contenido de silicio puede presentarse por posible presencia de polvo por falla en el sistema de admisión o filtración. De acuerdo a la figura 15, podemos establecer los siguientes parámetros:

Tabla 14. Valoración para Intervalos de concentraciones para el Silicio

	Concentración en ppm
Bueno	0-6
Moderado	6-10
Riesgo	10-15
Alto riesgo	15>

Fuente: autores

Análisis cuantitativo de sodio: La presencia de sodio en el sistema es considerado un contaminante y representa contenido de agua en el aceite producido por una falla en el sistema de admisión y filtración. De acuerdo a la figura 14, podemos establecer los siguientes parámetros:

Tabla 15. Valoración para intervalos de concentraciones para el Sodio

	Concentración en ppm
Bueno	0-9
Moderado	9-10,5
Riesgo	10,5-12
Alto riesgo	12>

Fuente: autores

Análisis cuantitativo de potasio y cinc:

En cada muestra analizada se encontró que la concentración de estos elementos es prácticamente igual, la gráfica 16 y 17 evidencia una tendencia constante en todas las muestras, pues se trata de aditivos propios de los aceites. El cinc se encuentra en el aceite lubricante como difosfato de cinc, la función principal del aditivo es como un agente

antidesgaste; su función secundaria es como un antioxidante. La grafica evidencia una concentración constante en todas las muestras.

Potasio se encuentra por los aditivos que neutralizan los compuestos ácidos, llamados aditivos TBN, las concentraciones son muy parecidas, lo que corrobora que ambos tipos de aceite tienen un nivel parecido de protección, lo cual se evidencia en la ficha de ambos aceites, que tienen un índice de protección API SN, ver tabla 4.

El desgaste cuando el motor funciona a gasolina es mayor, este combustible presenta una molécula mucho más compleja que la del GNV, además de contener azufre, naftas y otras impurezas que al quemarse a menor temperatura originan subproductos de la combustión, entre estos, los subproductos solidos son depositados en los asientos de las válvulas, cabeza de los pistones, conductos de admisión y escape, además del propio aceite que circula por todo el motor, provocando un aumento de la fricción, rozamientos, arañes de las partes y consecuentemente un aumento de la tasa de crecimiento del desgaste (Widman , 2011).

Tabla 16. Relación elementos con partes del motor.

Elemento	Origen	Tasa de desgaste	
Aluminio	Pistón, cojinetes de biela y bancada	Gasolina	0,0005171
		GNV	0,0004198
Cobre	Cojinetes de biela y bancada, cojinetes del bulón o pie de biela, cojinetes del árbol de levas, cojinetes de accesorios, tubos de enfriadores de aceite. Radiadores.	Gasolina	0,00075459
		GNV	0,00072033
Hierro	Camisas de cilindros, anillos, muñones de biela y bancada, guías y asientos de válvulas, árbol de levas, mecanismo de accionamiento de válvulas	Gasolina	0,0064344
		GNV	0,00601016

Fuente: Autores.

Otro fenómeno a tener en cuenta es que, al funcionar el motor con gasolina como combustible, esta puede escurrirse en el aceite, diluyéndolo y por ende degradándolo más rápidamente que si el motor funcionase con GNV, esto disminuye las propiedades deseadas como lubricante y por consiguiente aumenta el desgaste del motor.

En la admisión de gasolina a la cámara de combustión, esta puede no evaporarse completamente y formar pequeñas gotas que diluyen la capa de lubricante formada para proteger las partes aumentando el desgaste. Al ser un combustible gaseoso las paredes del cilindro no se lavan por la entrada del combustible a la cámara, que ocasiona la reducción de la película lubricante. Es menos propenso a ocasionar residuos carbonosos en el motor, al ser un combustible gaseoso no tiene el mismo efecto lubricante de un combustible líquido como lo es la gasolina, lo que hace que sea necesario el uso de asientos de válvulas más resistentes y aumentando la exigencia sobre el sistema de enfriamiento. (Compañía de entrenamiento técnico automotriz CETa LTDA, 2001)

La gasolina tiende a diluir el aceite lubricante y el hollín lo contamina, reduciendo su vida útil. La combustión limpia del GLP puede contribuir a la disminución del desgaste en el motor, alargando la vida de las bujías y logrando hasta duplicar la vida útil del aceite, lo que se traduce en disminución de gastos para los conductores y propietarios de los vehículos y un mejor rendimiento del motor del vehículo. (Colfecar, 2014)

7. CONCLUSIONES

Los metales analizados fueron escogidos de acuerdo a las condiciones del laboratorio, debido a que no se contaba con las lámparas y algunos insumos necesarios para medir otros elementos, sin embargo, los que se consiguieron cuantificar son los más representativos de las partes internas del motor para poder establecer bases sólidas en cuanto al desgaste, en promedio el 90 % de las piezas del motor contienen aluminio, hierro y cobre.

Al tomar un tamaño de muestras de 17 (9 tomadas de taxis que operan con GNV y 8 con gasolina como combustible) de tal manera que se distribuyan en tres rangos de cien mil kilómetros se brinda una confiabilidad del 95 % y un error del 5 %.

Para garantizar un buen análisis químico se debe diluir las muestras en xileno a una relación de 1:10 y poder avalar que las partículas a analizar están distribuidas de manera homogénea al momento de ser analizadas por el espectrofotómetro que arroja las absorbancias traducidas a concentraciones por medio de fórmulas químicas.

Una vez obtenidas las concentraciones se logró demostrar que la cantidad de elementos de desgaste en el aceite motor varía exponencialmente, este crecimiento depende del kilometraje recorrido y es posible modelar dicha variación de acuerdo a un balance de masa, obteniéndose un resultado útil para descripciones teóricas del comportamiento interno del motor en cuanto al desgaste y poder comprar con resultados experimentales para determinar posibles errores.

El desgaste cuan

do el motor funciona a gasolina es mayor, este combustible presenta una molécula mucho más compleja que la del GNV, además de contener azufre, naftas y otras impurezas que al quemarse a menor temperatura originan subproductos de la combustión, entre estos, los subproductos solidos son depositados en los asientos de las válvulas, cabeza de los pistones, conductos de admisión y escape, además del propio aceite que circula por todo el motor, provocando un aumento de la fricción, rozamientos, arañes de las partes y consecuentemente un aumento de la tasa de crecimiento del desgaste (Widman , 2011).

Otro fenómeno a tener en cuenta es que, al funcionar el motor con gasolina como combustible, esta puede escurrirse en el aceite, diluyéndolo y por ende degradándolo más rápidamente que si el motor funcionase con GNV, esto disminuye las propiedades deseadas como lubricante y por consiguiente aumenta el desgaste del motor. (Widman, La contaminación del aceite de motor por combustible – las causas, problemas, y prevención, 2015)

En la admisión de gasolina a la cámara de combustión, esta puede no evaporarse completamente y formar pequeñas gotas que diluyen la capa de lubricante formada para proteger las partes aumentando el desgaste. Al ser un combustible gaseoso las paredes del cilindro no se lavan por la entrada del combustible a la cámara, que ocasiona la reducción de la película lubricante. Es menos propenso a ocasionar residuos carbonosos en el motor, al ser un combustible gaseoso no tiene el mismo efecto lubricante de un combustible líquido como lo es la gasolina, lo que hace que sea necesario el uso de asientos de válvulas más resistentes y aumentando la exigencia sobre el sistema de enfriamiento. (Compañía de entrenamiento técnico automotriz CETa LTDA, 2001)

La gasolina tiende a diluir el aceite lubricante y el hollín lo contamina, reduciendo su vida útil. La combustión limpia del GLP puede contribuir a la disminución del desgaste en el

motor, alargando la vida de las bujías y logrando hasta duplicar la vida útil del aceite, lo que se traduce en disminución de gastos para los conductores y propietarios de los vehículos y un mejor rendimiento del motor del vehículo. (Colfecar, 2014)

En el análisis comparativo se observó en términos generales una menor concentración de metales de desgaste en el motor funcionando a GNV en comparación con el que utiliza gasolina como combustible, la tasa de desgaste de los elementos aluminio, hierro y cobre es mucho mayor en los vehículos que utilizan combustible tradicional con razones de 1,02, 1,07 y 1,04 respectivamente.

8. RECOMENDACIONES

Utilizar junto a la EAA otros métodos como la ferrografía, puesto que, al aumentar el fallo de las partes, las partículas desprendidas se tornan de mayor tamaño, las cuales después de los 5 μm de diámetro no son detectados por métodos de espectrometría.

Aunque la espectrometría es un método que aporta muy buenos datos cuantitativos, la ferrografía puede proporcionar datos cualitativos mejores, en cuanto a morfología de las partículas, distribución de tamaños (de 2 a 20 μm), modo de desgaste y característica metalográfica.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez Florez, J. A. (2005). *Motores alternativos de combustion interna*. Granada, España: ediciones UPC.
- American Petroleum Institute . (s.f.). *American Petroleum Institute Web page*.
Obtenido de www.api.org: www.api.org/products-and-services/engine-oil
- Benavente R, G. (Junio 1999). *Aceite Lubricante Usado* . Chile: Bravo Energy Chile S.A Boletin N°2.
- Cabronero Mesas, D. (2003). *Motores de combustion interna y turbinas de gas*.
- Cabronero Mesas, D. (2003). *Motores de combustion interna y turbinas de gas*.
- Chevron Corporation. (2009). *The basics of lubricants additives*.
- Colfecar. (2014). *Gas licuado de petróleo: ¿una opcion de combustible para el transportador de carga por carretera?*
- Compañía de entrenamiento técnico automotriz CETa LTDA. (2001). *EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE CONVERSIÓN A GNV DE VEHÍCULOS DE LA FLOTA DE EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLÍN (EE.PP.MM.)*. Medellín.
- De vita, Y. (1995). *Aditivos para luricantes de motores a gasolina. segunda*. (F.I.R.B-Universidad de los Andes, Ed.) Mérida, Venezuela.
- Devore, J. L. (2008). *Probabilidad y estadística para ciencias e ingeniería*. Mexico: Cengage Learning.
- Diario El Tiempo. (16 de 01 de 2015). Colombia, octavo pais con mas carros de gas natural. *El Tiempo*.
- Diprima, B. (2000). *Ecuaciones diferenciales y problemas con valores en la frontera* (4 ed., Vol. I). Mexico: Limusa-Welley.
- Giacosa, D. (s.f.). *Motores Endotermicos*. Dossat. S.A.
- Hillier's. (2004). *Fundamentals of Motor Vehicle Technology, Libro 1* Pagina 57 .
http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS. (s.f.). *ancap.com*.
- HUERTAS , J. (2004). Evaluación de Vehículos a Gas Natural. *1er Seminario Internacional de Biocombustibles. Universidad Nacional de Colombia*, (págs. 180-190). Bogotá.

- Lopez rojas, S. A. (2008). *Consideraciones técnicas y económicas de vehículos a gas natural (tesis pregrado)*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- LPG my car. (s.f.). *how does LPG work?* Obtenido de www.lpgmycar.co.uk/aboutourlpg/how-does-lpg-work/
- MINISTRO DE AMBIENTE, V. Y. (2008). *Alcaldía de Bogotá*. Obtenido de www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31146.
- Misterio de Medio Ambiente. (2001). *Estudio de consultoria en gas natural vehicular contarto N° 079-003/00*.
- Paz, A. (2010). *Manual de Automoviles*. MADRID: DOSSAT-2000.
- Ramirez, J. A. (2001). *Recuperacion de aceite lubricantes para automotores a partir de aceites usados y desechados, usando procesos fisico-quimicos (Tesis pregrado)*. Universidad de Antioquia.
- Rizvi. (2009). *A comprehensive review of lubricant chemistry, technology, selection, and design*, ASTM International, West.
- Semana, R. (2013). www.semana.com/especiales/contaminacion/. Obtenido de Revista Semana.
- skoog, D. A. (2005). *Quimica analitica*. España: S.A. EDICIONES PARANINFO.
- Skooh, D. A., West, D. M., Holler, J. F., & Crouch, S. R. (s.f.). *Fundamentos de quimica analitica 8ed*. Thomson.
- Society of Automotive Engineers. (20 de 01 de 2015). *Society of Automotive Engineers Web page*. Obtenido de standards.sae.org/j300_201501/
- Taylor, C. F. (2014). *The Internal-combustion Engine in Theory and Practice*. MIT Press.
- Texto científico*. (26 de 11 de 2005). Obtenido de Texto científico: <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>
- The Internal-combustion Engine in Theory and Practice*. (2014).
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2010). *Proyección de Demanda de Combustibles Líquidos y GNV en Colombia*.
- Universidad autonoma de Chihuahua. (s.f.). Obtenido de http://www.ancap.com.uy/docs_concursos/ARCHIVOS

- vita, Y. d. (1995). Aditivos para lubricantes de motores a gasolina. Venezuela.
- Vitess Motor Oil. (Enero 2010). *Los lubricantes para automocion 7ma edicion.*
- Wauquier, J.-P. (2004). *El refino del petroleo: petroleo crudo, productos petroliferos y esquemas de fabricacion.* (R. Serrano Ortiz, Ed.) Madrid, España: Diaz de Santos.
- Widman , R. (2011). *El Mantenimiento de Motores de Autos Convertidos a GNC o GLP.* Santa Cruz: Widman internaional s.r.l.

10. ANEXOS

A. Ilustración proceso de recolección de muestras

Preparación preliminar:

Los automóviles se verifican para que estén en buen funcionamiento, se procede al cambio de aceite completo, filtro de aceite y filtro de aire, para evitar posibles contaminantes.

Reparación de motores en condiciones no deseadas.

A 1. Reparación de motores en condiciones no deseadas



Cambio de filtro de aceite.

A 2. Cambiar filtro de aceite



A 3. Filtro de aceite instalado



Cambio de filtro de aire

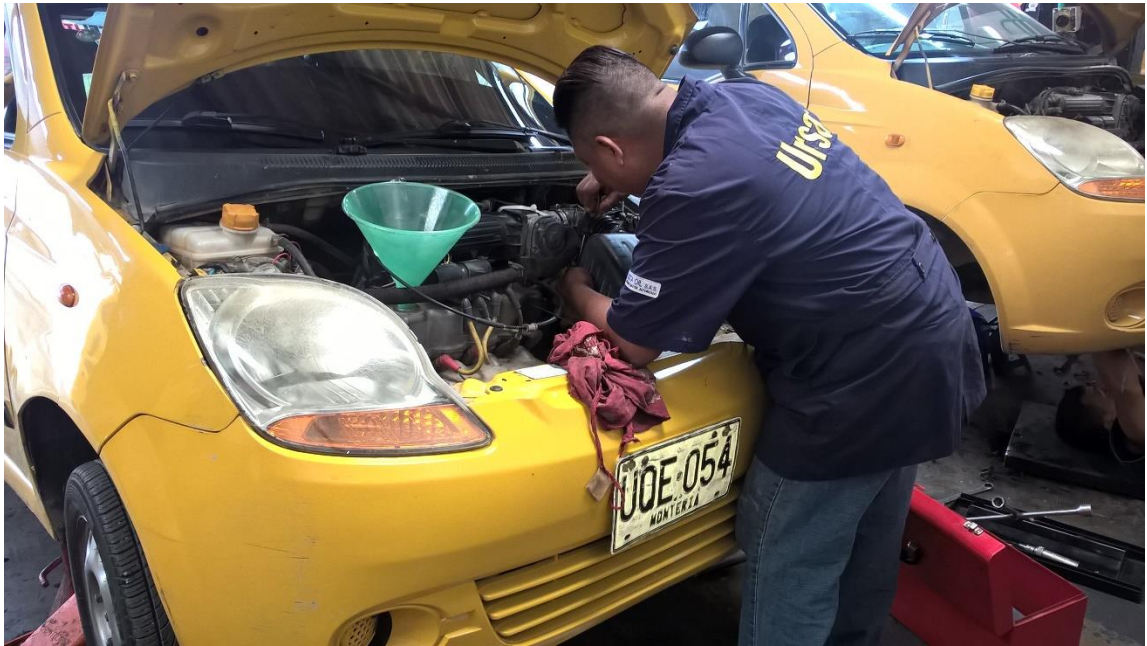
A 4. Filtro de aire usado



A 5. Filtro de aire nuevo



A 6. Instalación del filtro de aire nuevo



Cambio de aceite usado por uno nuevo, el cual sera el aceite para la recoleccion de muestra una vez finalice su ciclo de vida en el motor.

A 7. Cambio de aceite nuevo para la prueba

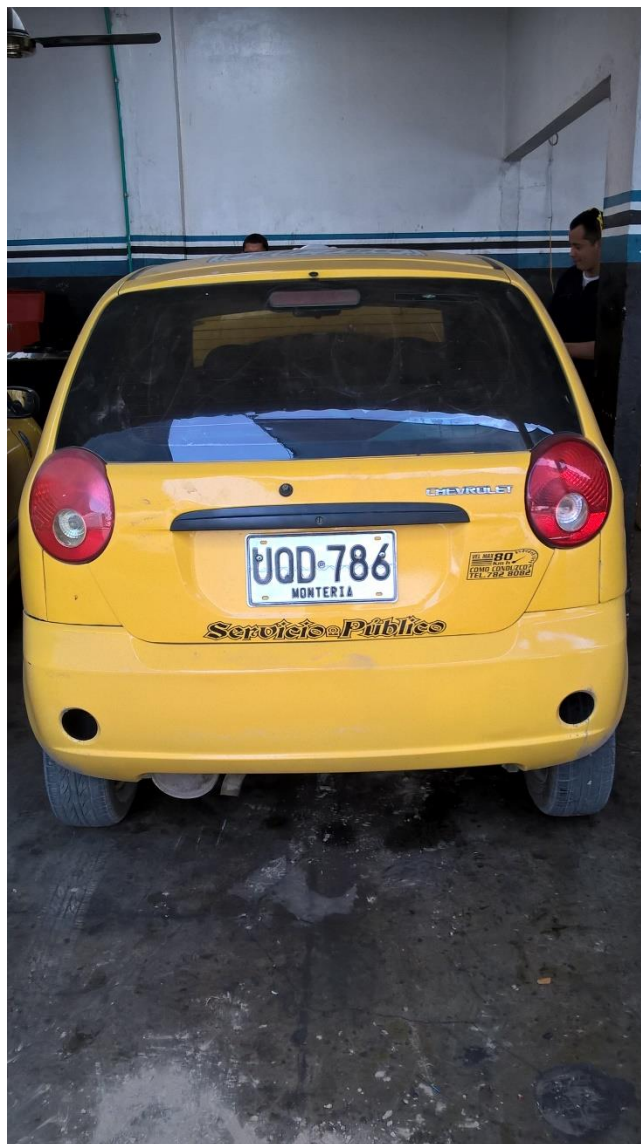


Así queda el automóvil en preparado para salir a hacer los recorridos asignados por la empresa, los cuales una vez sean cumplidos se tomará la muestra de aceite.

Toma de muestra:

Calentando automóvil por 2 minutos, para lograr una concentración de elementos en el aceite uniforme, después de estar estacionado durante 1 hora.

A 8. Calentamiento del vehículo



Levantamiento del auto para lograr un mejor acceso al carter del motor, y poder adoptar mejores posiciones de trabajo.

A 9. Posición del taxi para la toma de muestra



Se remueve el tapon del carter y se espera que se evacue hasta aproximadamente la mitad del nivel de aceite.

A 10. Evacuación del aceite de prueba



La muestra es tomada primeramente en un recipiente de boca ancha y mayor volumen para facilitar la toma del lubricante en evacuación, posteriormente se vierte en el recipiente de toma de muestra. El cual se rotula con la placa del taxi.

A 11. Envases para recolección de muestra



B. Proceso de laboratorio dilución de muestras:

Las muestras recolectadas serán diluidas en dos envases, uno que será enviado al laboratorio y otro de respaldo.

B 1. Muestras recolectadas



Se rotulan los recipientes alfabéticamente según el kilometraje y el rango en el que se encuentra ubicada la muestra, esto con el fin de facilitar la toma y entrega de datos con el espectrofotómetro de absorción atómica.

B 2. Rotulación de muestras y envases para dilución



Te toma de la muestra de aceite con una pipeta 10 ml de lubricante.

B 3. Pipeteado de la muestra para dilución



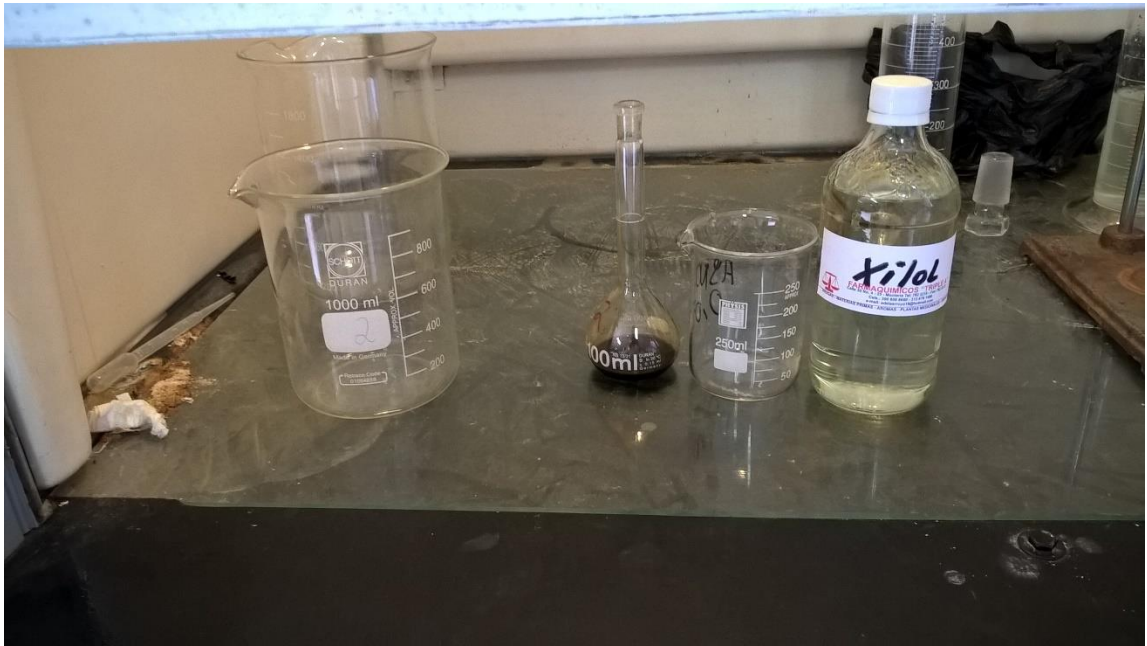
Se vacía en un matraz

B 4. Vaciado en matraz



Se lleva a la campana de extracción de gases para operar de forma segura con el xileno.

B 5. Ubicación en la campana de extracción de gases



Se llena el matraz hasta completar su volumen con xileno.

B 6. Dilución en matraz



Se vacian los 100 mililitros de dilucion en los dos recipientes, la mitad en cada uno.

B 7. Recipientes para dilucion



Se repite el proceso con todas y cada de las muestras tomadas.

B 8. Muestras y diluciones



C. Ilustraciones del proceso de laboratorio con el espectrofotómetro:

La obtención de las concentraciones de los metales en las muestras de aceite son arrojados por el espectrofotómetro, este proceso fue realizado bajo la asesoría de los auxiliares del laboratorio de toxicología y gestión ambiental

C 1 Preparación del patrón de calibración



El patrón de calibración debe ser preparada para obtener lecturas confiables, se calibra para cada elemento que se desea analizar

C 2 Calibración del equipo



Una vez preparado el patrón se calibra el equipo para procedes a analizar cada muestra

C 3 Análisis de cada muestra en el equipo



C 4 Muestras analizadas

