

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

Facultad de Ingeniería Automotriz

TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ

“Estudio del impacto medio ambiental causado por un motor de combustión
interna diesel a base de aceite vegetal.”

Jorge Javier Acosta Manosalvas

Director: Ing. Andrés Gavilanes

20010

Quito, Ecuador

CERTIFICACIÓN

Yo, JORGE JAVIER ACOSTA MANOSALVAS declaro que soy el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal mía. Todos los efectos académicos y legales que se desprendan de la presente investigación serán de mi exclusiva responsabilidad.



Jorge Javier Acosta Manosalvas

Yo, INGENIERO ANDRÉS GAVILANES, declaro que, en lo que yo personalmente conozco, el señor, JORGE JAVIER ACOSTA MANOSALVAS, es el autor exclusivo de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal suya.



Ing. Andrés Gavilanes

Director

AGRADECIMIENTO

Primeramente y mi más grande agradecimiento es a Dios, por darme las fuerzas para no desfallecer durante la ardua realización de mi tesis, por iluminar mi camino, guiarme siempre en la dirección correcta y levantarme en mis peores momentos.

A mis padres, Jorge y Miriam, que gracias a su continuo apoyo y su esfuerzo día a día, han logrado formar la persona y el profesional que soy ahora. A mis amigos y todas las personas que participaron de una u otra forma para la realización de esta tesis, gracias por darme esa voz de aliento para siempre seguir adelante.

“Follow your heart, never give up”

Jorge Acosta.

DEDICATORIA

“Llegar a la meta no es vencer, lo importante es el camino y en el caer,
levantarse, insistir, aprender”.

Esta tesis se los dedico a Dios y mis padres, son los responsables de terminar exitosamente otra etapa de mi vida, una etapa que puso a prueba mi perseverancia, mi paciencia, mi dedicación y mi fe. Gracias a ello he aprendido valiosas lecciones y vivido grandes momentos, momentos que llevare siempre en mi corazón y que me ayudaran a ser una persona de bien y así lograr tener un futuro que enorgullezca profundamente a Dios y a mis padres.

Jorge Acosta.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	XII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
NOMBRE DEL PROYECTO.....	XVIII
ANTECEDENTES.....	XVIII
OBJETIVO GENERAL.....	XIX
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XIX
ALCANCE.....	XIX
CAPITULO 1.- EL MOTOR DIESEL: “EL PRIMER MOTOR PARA TRABAJAR CON BIOCOMBUSTIBLES”	20
1.1.- Reseña histórica del motor diesel.....	20
1.2.- Características del motor diesel a utilizar en el proyecto.....	23
1.3.- Principio de funcionamiento del motor diesel.....	24
1.4.- Características del combustible diesel.....	27
1.4.1.- Gases producidos por el motor diesel.....	31
1.5.- Contaminación Vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito.....	40
1.5.1.- Calidad de los combustibles.....	42
1.5.2.- Calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito.....	45
CAPITULO 2.- COMPONENTES A IMPLEMENTAR AL MOTOR DIESEL PARA SU OPTIMO FUNCIONAMIENTO CON ACEITE VEGETAL... 	53
2.1.- Características del aceite vegetal.....	53
2.1.1.- Controversia en el uso del aceite vegetal como combustible.....	57
2.2.- Diferencia entre biodiesel y aceite vegetal.....	58
2.3.- Componentes a implementar.....	59
2.3.1.- Bujías de precalentamiento.....	60
2.3.2.- Toberas de inyección.....	61

2.3.3.-	Intercambiador de calor de combustible.....	62
2.3.4.-	Switch de temperatura.....	64
2.3.5.-	Calentador eléctrico para el filtro de combustible.....	64
2.3.6.-	Filtro adicional de combustible.....	65
2.3.7.-	Bomba manual de combustible.....	66
2.3.8.-	Sistema eléctrico.....	67

CAPITULO 3.- IMPLEMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES AL MOTOR.....68

3.1-	Informe explicativo de la instalación de los componentes al motor.....	68
------	--	----

CAPITULO 4.- ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA EMANACIÓN DE GASES CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR EL MOTOR A COMBUSTIÓN DIESEL Y POR EL MOTOR DE ACEITE VEGETAL.....78

4.1.-	Análisis de gases emitidos por el motor a combustión diesel.....	78
4.1.1.-	Óxidos de Nitrógeno.	80
4.1.2.-	Monóxidos de Carbono.....	82
4.1.3.-	Hidrocarburos de quemados.....	83
4.1.4.-	Dióxidos de Carbono.....	85
4.1.5.-	Oxígeno.....	87
4.1.6.-	Material Particulado.....	89
4.1.7.-	Azufre.....	90
4.2.-	Análisis de gases emitidos por el motor de aceite vegetal.....	91
4.2.1.-	Óxidos de Nitrógeno.	93
4.2.2.-	Hidrocarburos no quemados.....	94
4.2.3.-	Monóxidos de Carbono.....	95
4.2.4.-	Dióxidos de Carbono.....	97
4.2.5.-	Oxígeno.....	98
4.2.6.-	Material Particulado.....	100

4.2.7.-	Azufre.....	102
4.3.-	Análisis comparativo de los motores.....	102
4.3.1.-	Óxidos de Nitrógeno.	102
4.3.2.-	Hidrocarburos no quemados.....	104
4.3.3.-	Dióxidos de Carbono.....	107
4.3.4.-	Monóxidos de Carbono.....	108
4.3.5.-	Oxígeno.....	112
4.3.6.-	Material Particulado.....	114
4.3.7.-	Azufre.....	115
CAPITULO 5.- EVALUCIÓN ECONÓMICO FINANCIERA.....		122
5.1.-	Adquisición de materiales.....	122
5.2.-	Costos Directos.....	123
5.2.1.-	Costo de producción del diesel.....	123
5.2.1.-	Costo de producción del aceite vegetal.....	123
5.3.-	Imprevistos.....	124
5.4.-	Financiamiento.....	124
5.5.-	Cronograma de desembolsos del proyecto.....	124
CAPITULO 6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		126
6.1.-	Conclusiones.....	126
6.2.-	Recomendaciones.....	127
BIBLIOGRAFÍA.....		129
ANEXOS.....		131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Niveles de concentración máxima permitidos por gas.....	48
Tabla 1.2.- Rangos, significados y colores de las categorías del IQCA.....	49
Tabla 1.3.- Límites numéricos de cada categoría del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	50
Tabla 1.4.- Valores de las concentraciones de los gases registrados de 2004 a 2008.....	52
Tabla 2.1.- Características del diesel y del aceite vegetal.....	54
Tabla 2.2.- Estándar de calidad del aceite de canola.....	56
Tabla 2.3.- Características del intercambiador de calor.....	63
Tabla 3.1.- Presión de apertura de los inyectores del motor.....	71
Tabla 3.2.- Compresión de los cilindros del motor.....	72
Tabla 4.1.- Datos obtenidos de los gases analizados en la etapa de ralentí del motor a diesel.....	79
Tabla 4.2.- Datos obtenidos de los gases analizados en la etapa de sobre revoluciones del motor a diesel.....	80
Tabla 4.3.- Datos generales de los gases analizados en la etapa de ralentí del motor a aceite vegetal.....	91
Tabla 4.4.- Datos generales de gases analizados en la etapa de altas revoluciones del motor a aceite vegetal.....	92
Tabla 4.5.- Efectos en la salud por la exposición de concentración de CO en el aire.....	111
Tabla 4.6.- Cuadro comparativo de los gases contaminantes (NO_x y HC) emitidos por los 2 motores.....	116
Tabla 4.7.- Cuadro comparativo de los gases contaminantes (CO y CO_2) emitidos por los 2 motores.....	117
Tabla 4.8.- Cuadro comparativo de los gases contaminantes (O_2 y PM) emitidos por los 2 motores.....	117
Tabla 5.1.- Costo de los materiales utilizados en el proyecto.....	122

Tabla 5.2.- Costo de los combustibles utilizados en el proyecto.....123

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1.1.- Vehículo para el proyecto.....	24
Imagen 2.1.- Bujía de precalentamiento.....	61
Imagen 2.2.- Tobera de inyección.....	62
Imagen 2.3.- Intercambiador de calor de combustible.....	63
Imagen 2.4.- Switch de temperatura.....	64
Imagen 2.5.- Calentador eléctrico para el filtro de combustible.....	65
Imagen 2.6.- Filtro adicional de combustible.....	66
Imagen 2.7.- Bomba manual de combustible.....	66
Imagen 2.8.- Diagrama para el sistema eléctrico.....	67
Imagen 3.1.- Bomba de inyección desmontada.....	70
Imagen 3.2.- Inyector desarmado.....	71

ÍNDICE DE GRÁFICOS

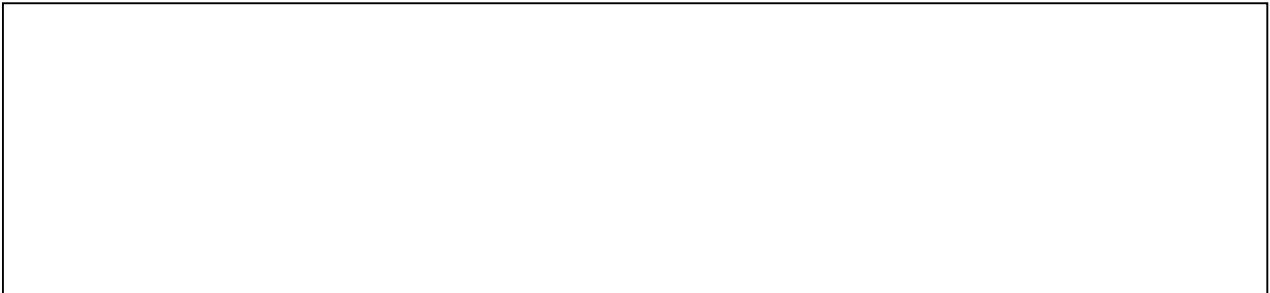
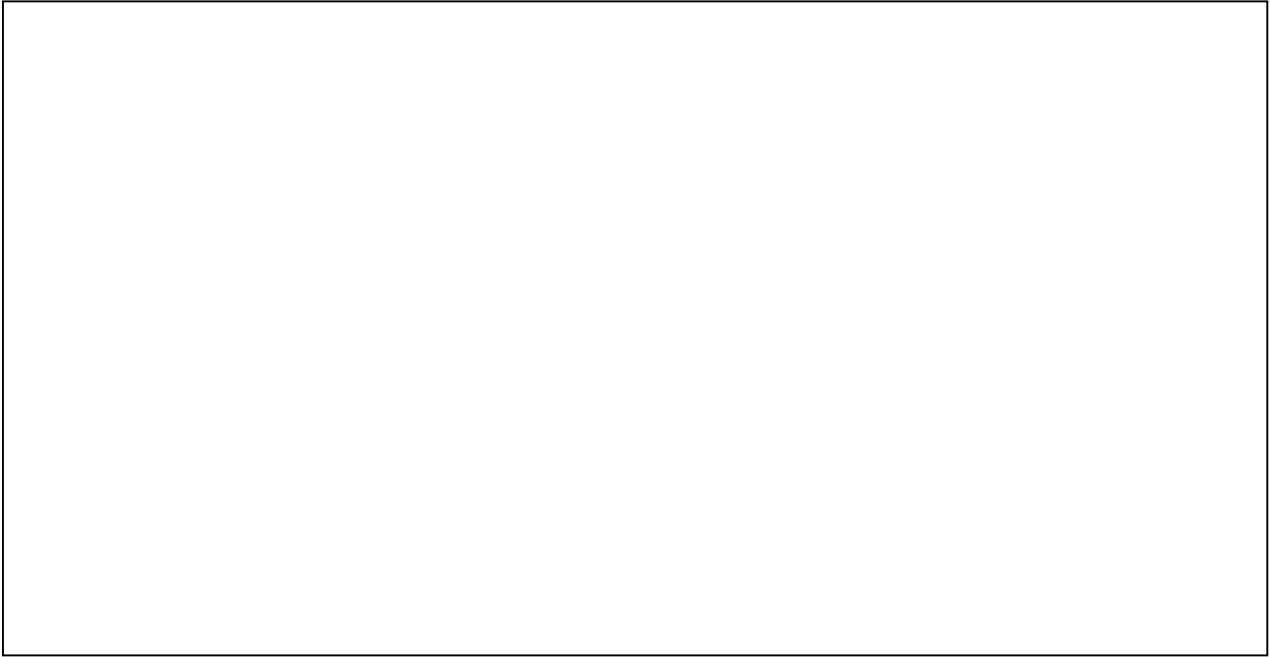
Gráfico 3.1.- Diagrama de procesos con el motor a diesel.....	68
Gráfico 3.2.- Diagrama de procesos con el motor a aceite vegetal.....	74
Gráfico 4.1.- Nivel de los óxidos de nitrógeno en la etapa de ralentí del motor.....	81
Gráfico 4.2.- Nivel de los óxidos de nitrógeno en la etapa de altas revoluciones del motor.....	81
Gráfico 4.3.- Nivel de los monóxidos de carbono en la etapa de ralentí del motor.....	82
Gráfico 4.4.- Nivel de los monóxidos de carbono en la etapa de altas revoluciones del motor.....	83
Gráfico 4.5.- Nivel de los hidrocarburos no quemados en la etapa de ralentí.....	84
Gráfico 4.6.- Nivel de los hidrocarburos no quemados en la etapa altas revoluciones del motor.....	84
Gráfico 4.7.- Nivel de los dióxidos de carbono en la etapa de ralentí del motor.....	86
Gráfico 4.8.- Nivel de los dióxidos de carbono en la etapa de altas revoluciones del motor.....	86
Gráfico 4.9.- Nivel del oxígeno en la etapa de ralentí del motor.....	87
Gráfico 4.10.- Nivel del oxígeno en la etapa de altas revoluciones del motor.....	88
Gráfico 4.11.- Nivel del material particulado en la etapa de ralentí del motor.....	89
Gráfico 4.12.- Nivel del material particulado en la etapa de altas revoluciones del motor.....	90
Gráfico 4.13.- Nivel de los NO _x en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal.....	93
Gráfico 4.14.- Nivel de los NO _x en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal.....	93
Gráfico 4.15.- Nivel de los HC en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal.....	94
Gráfico 4.16.- Nivel de los HC en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal.....	95

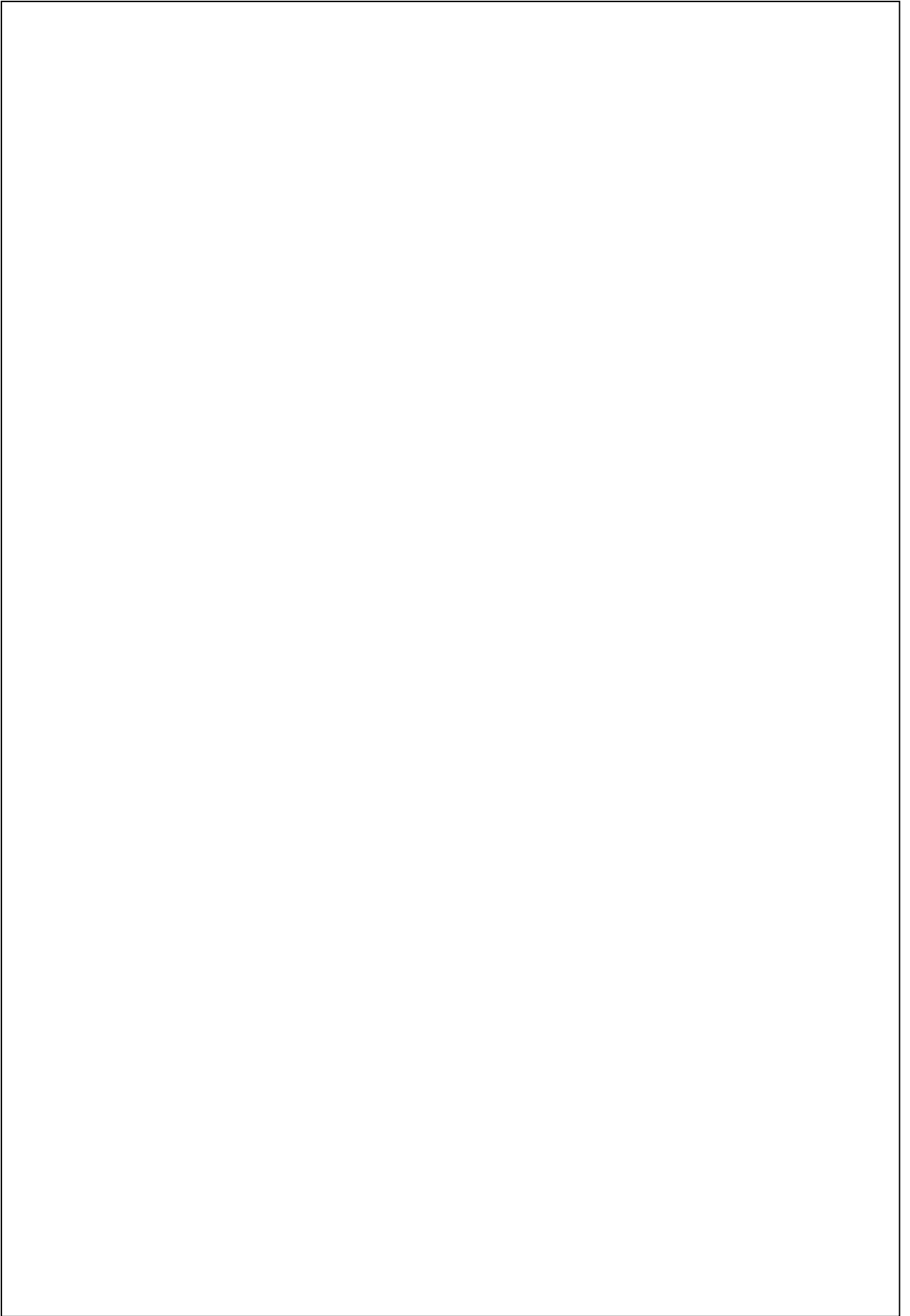
Gráfico 4.17.- Nivel de los CO en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal.....	96
Gráfico 4.18.- Nivel de los CO en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal.....	96
Gráfico 4.19.- Nivel de los CO ₂ en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal.....	97
Gráfico 4.20.- Nivel de los CO ₂ en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal.....	98
Gráfico 4.21.- Nivel del O ₂ en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal.....	99
Gráfico 4.22.- Nivel del O ₂ en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal.....	99
Gráfico 4.23.- Nivel del PM en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal.....	101
Gráfico 4.24.- Nivel del PM en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal.....	101
Gráfico 4.25.- Resultante de los niveles de NO _x para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí.....	103
Gráfico 4.26.- Resultante de los niveles de NO _x para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones.....	103
Gráfico 4.27.- Resultante de los niveles de HC para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí.....	105
Gráfico 4.28.- Resultante de los niveles de HC para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor.....	106
Gráfico 4.29.- Resultante de los niveles de CO ₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí.....	107
Gráfico 4.30.- Resultante de los niveles de CO ₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor.....	108
Gráfico 4.31.- Resultante de los niveles de CO para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí.....	109
Gráfico 4.32.- Resultante de los niveles de CO para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor.....	110

Gráfico 4.33.- Resultante de los niveles de O ₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí.....	112
Gráfico 4.34.- Resultante de los niveles de O ₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor.....	113
Gráfico 4.35.- Resultante de los niveles de PM para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí.....	114
Gráfico 4.36.- Resultante de los niveles de PM para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor.....	115
Gráfico 4.37.- Medición de la potencia del motor con combustible diesel.....	118
Gráfico 4.38.- Medición de la potencia del motor con combustible aceite vegetal.....	119
Gráfico 4.39.- Cronograma de desembolsos del proyecto.....	125

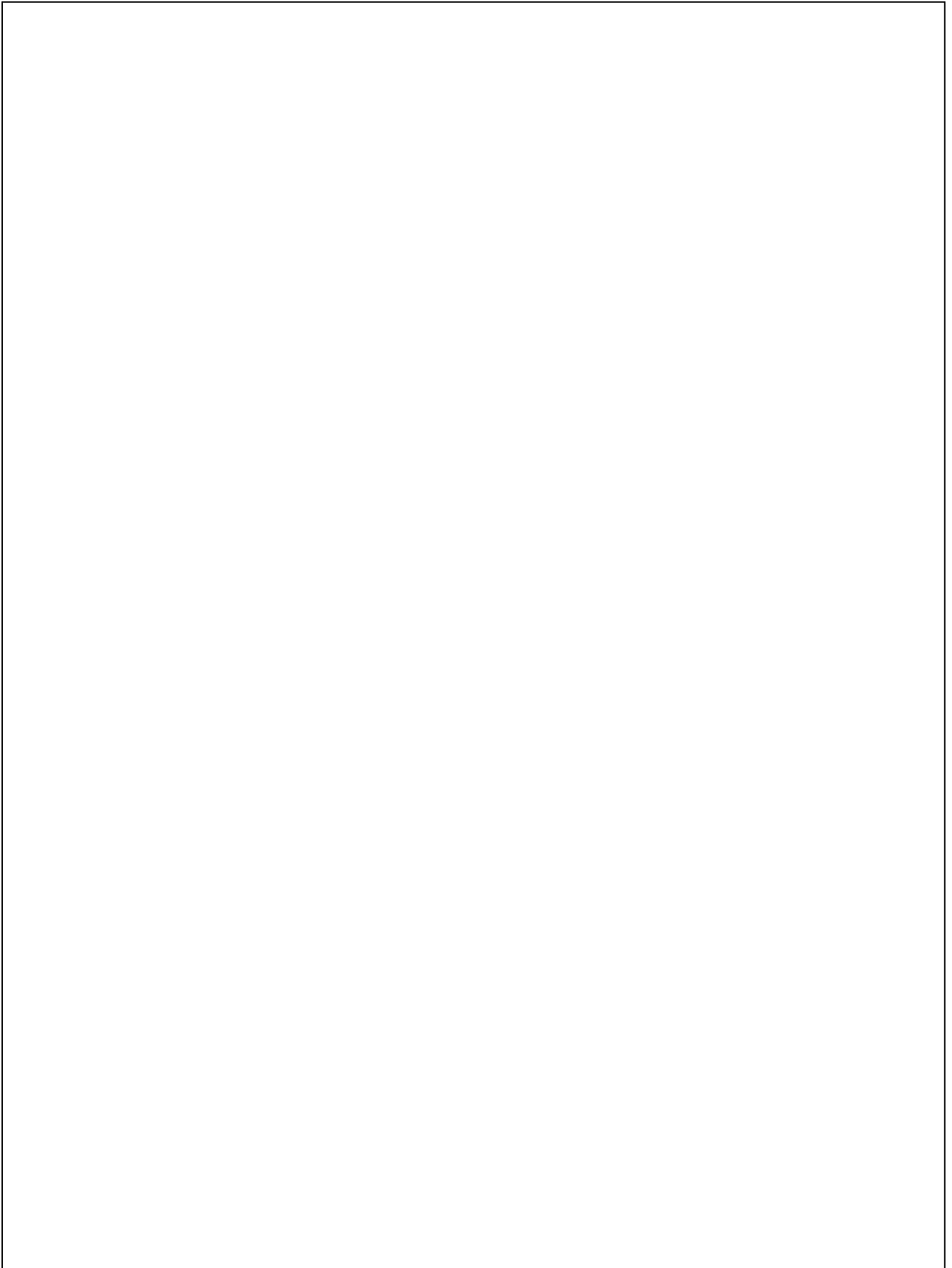


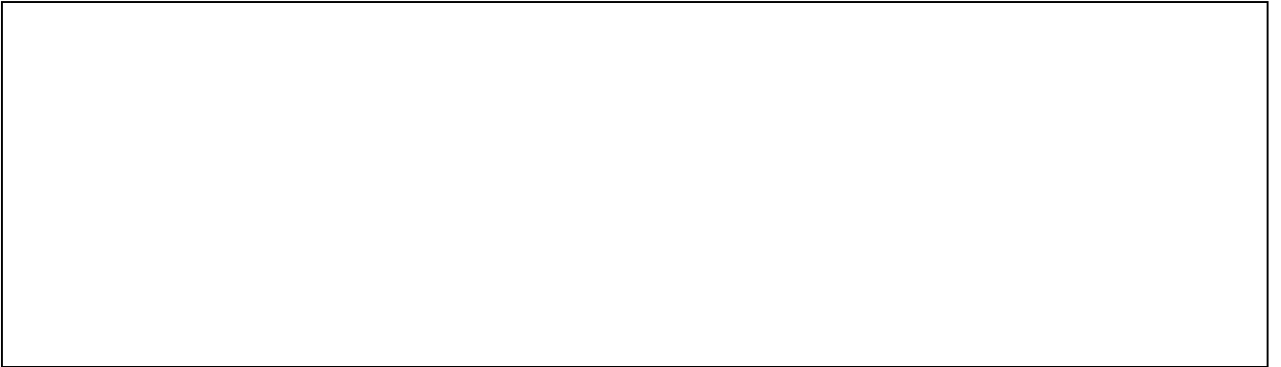
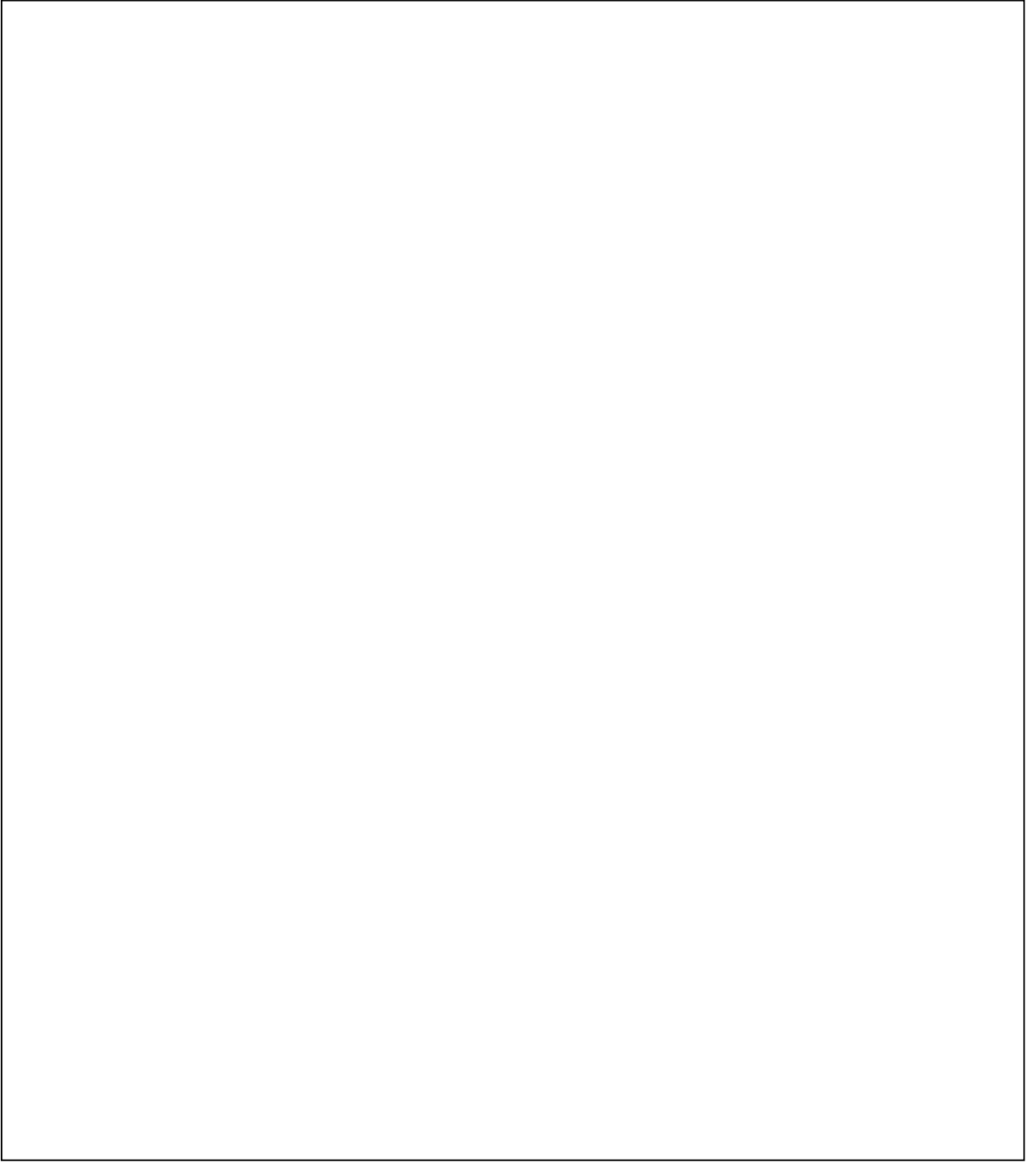
FACULTAD DE INGENIERIA EN MECANICA AUTOMOTRIZ











CAPITULO 1

EL MOTOR DIESEL: “EL PRIMER MOTOR PARA TRABAJAR CON BIOCOMBUSTIBLES”.

1.1. RESEÑA HISTÓRICA DEL MOTOR DIESEL.

El motor diesel fue inventado por el ingeniero especializado en termodinámica, Rudolf Christian Karl Diesel, nacido en Francia en 1858. El motor que lleva por nombre el apellido de su inventor, fue concebido con el propósito de hacerlo funcionar utilizando una diversidad de combustibles, incluido el aceite.

Este motor es de combustión interna y puede funcionar bajo ciclos de dos o cuatro tiempos. Su fundamento se basa en la entrada de aire, el cual es comprimido a altas relaciones del orden de 16 a 22:1, con lo que se provoca la combustión.

En el año de 1893 fue publicado un ensayo escrito por Diesel, en donde describía un motor que hace combustión dentro de uno de sus cilindros. Fue el nacimiento de la combustión interna. En 1894, Diesel patentiza su trabajo y demuestra por primera vez que es posible encender el combustible sin utilizar una chispa.

Pero no fue hasta el año de 1897 que Diesel presentó su invento al mundo científico en la Asamblea General de Ingenieros Alemanes celebrada en la ciudad de Kassel. Un motor con encendido por compresión. En comparación con el motor a explosión Otto, este motor tenía las ventajas de tener un consumo mucho menor y de poder funcionar con un combustible relativamente barato en ese tiempo, y así mismo consiguiendo potencias muy superiores.

Pero Rudolf Diesel tuvo que pasar por inconvenientes antes de llegar a su gran descubrimiento, ya que por poco lo mata su invención; uno de los primeros motores de combustión interna explotó durante la primera prueba, pero Rudolf sobrevivió y continuó su trabajo. Para 1898, a los cuarenta años, Diesel era un millonario por la venta de franquicias a empresas en Europa y otras partes del mundo.

En 1900, en la Exhibición Mundial en Paris, Diesel hizo una demostración de su motor, y lo hizo funcionar con aceite de cacahuete; y originalmente esa fue la idea con la que se diseñó el motor de Diesel, “ser el primer motor para trabajar con biocombustibles”, pudiendo ser utilizado también como combustibles aceite puro de palma o de coco. Diesel también reivindicó en su patente el uso de polvo de carbón como combustible, pero este no es utilizado por lo abrasivo que es. Después de un tiempo, en 1911, Rudolf Diesel declaró lo siguiente: “El motor diesel puede ser utilizado con aceite vegetal y esto ayudará directamente al desarrollo de la agricultura en los países que lo utilicen”.

Diesel siempre fue un hombre preocupado por las necesidades sociales de las personas de su época. Muchas veces manifestó que el invento de su motor fue originado por el deseo que tenía de que el trabajador independiente pudiese competir con las grandes industrias del momento. El primer motor que construyó de Rudolf Diesel tenía una efectividad de un 10%, su segundo modelo en cambio, aumentó su eficiencia teórica y práctica en un 75,6%, que contrastaba con el motor de vapor que para ese tiempo solo lograba un diez por ciento.

En realidad el invento de Diesel está apoyado en tres puntos:

- la transferencia del calor como proceso o ley física,
- el conocimiento y creatividad en el diseño mecánico
- y las necesidades sociales.

En parte su propuesta fue concebida para facilitar el trabajo a los pequeños artesanos y trabajadores independientes para ayudarles a reducir sus costos, con el fin de que sean capaces de competir con las grandes industrias que empleaban el vapor como principal fuerza productora.

Dentro de muy poco tiempo, el invento de Diesel ocupó todo el campo dentro de los motores navales y estacionarios. Sin embargo, el motor diesel tenía el inconveniente de que le resultaba imposible alcanzar regímenes de revoluciones altos, y además, mientras más evolucionaba el motor diesel y se iban conociendo sus ventajas, mas se exigía un motor de auto ignición rápido pero a la vez pequeño.

El mayor obstáculo que tuvo que superar el motor Diesel de alta velocidad fue la alimentación de combustible. El método de "asistencia neumática" empleado en un principio al motor, con el que el combustible es "soplado" al interior de la cámara de combustión mediante aire comprimido, no permitía incrementar de la manera adecuada el régimen de revoluciones. Además la "bomba de aire" exigía una instalación compleja, lo que hacía imposible reducir considerablemente el tamaño y el peso de los motores diesel.

Pero fue el técnico alemán Robert Bosch, a finales de 1922, quien decidió desarrollar su propio sistema de inyección de combustible para motores diesel. Las condiciones técnicas eran favorables; ya se disponía de experiencia en motores de combustión; existía un alto nivel de desarrollo en la forma de producir y ante todo podían aplicarse conocimientos adquiridos en la fabricación de bombas de aceite. Robert Bosch y su equipo trabajaron arduamente para cumplir esta misión, y para comienzos de 1923 se habían proyectado ya una docena de bombas de inyección distintas, y a mediados de 1923 se realizaron los primeros ensayos en el motor.

Pronto todo el medio técnico comenzó a contar cada vez más con la aparición de la bomba de inyección mecánica, la misma que esperaba de un nuevo impulso para la construcción de motores diesel.

Finalmente, en el verano europeo de 1925, se dieron los últimos toques al proyecto definitivo de la bomba de inyección, y en 1927 salieron de la fábrica de Stuttgart las primeras bombas producidas en serie, las mismas que eran del tipo mecánica con elementos en línea.

Esta bomba de inyección desarrollada por Bosch proporcionó al motor de Rudolf Diesel la velocidad deseada, proporcionándole un éxito imprevisto. El motor diesel fue adentrándose cada vez más en diferentes campos de aplicaciones, era usado en oleoductos, plantas de agua y eléctricas, minería, transporte marítimo y fluvial así como camiones y automóviles. La evolución del motor diesel y del sistema de inyección continuó y sigue evolucionando hasta el día de hoy incesantemente.

1.2 CARACTERISTICAS DEL MOTOR DIESEL A UTILIZAR EN EL PROYECTO.

Para el proyecto a realizarse se utilizara un vehículo de marca Daihatsu, con placas GCU-443, de fabricación Japonesa, modelo Rocky con año de fabricación de 1985. Consta con un motor de 4 cilindros en línea montado en forma longitudinal de ciclo diesel; con un orden de encendido 1-3-4-2 y con una cilindrada de 2765 cm³. Posee una bomba de inyección lineal Nippon Denso. El vehículo es de actual propiedad del señor Rafael Acosta Rodríguez con cedula de identidad 1714934948, el mismo que ha contribuido con su vehículo por un periodo de dos meses para poder realizar los cálculos que se tomaran con el motor y que se presentaran más adelante en el proyecto.



Imagen 1.1. Vehículo para el proyecto¹

1.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIESEL.

El motor diesel, a causa de las altas solicitaciones a las que está sometido debido a su elevada compresión de gases y a la alta temperatura que trabaja, sus elementos deben poseer una construcción más robusta que el motor a gasolina, pero esto también representa una desventaja para el motor diesel ya que su peso aumenta considerablemente.

El combustible diesel debe ser inyectado a la cámara de combustión finamente pulverizado en donde se encuentra el aire comprimido y caliente, produciendo una combustión del modo más favorable y así obtener cantidades mínimas de gases no quemados. Si la combustión es deficiente o si el combustible inyectado es demasiado, se producirá un exceso de gases mal quemados por el escape, ocasionando no solo una contaminación al medio ambiente, también puede ocasionar un sobrecalentamiento que conlleva a un daño grave del motor o al deterioro de algunos componentes.

Durante el tiempo de admisión, el aire ingresa al cilindro a través de un filtro; así mismo, el combustible, por medio del sistema de alimentación, llega a la bomba de inyección la cual

¹ Vehículo a utilizarse en el proyecto, imagen tomada: por Jorge Acosta

se encarga de enviar a presión a cada uno de los inyectores, los mismos que lo introducirán finamente pulverizado en los diferentes cilindros. Seguidamente en el tiempo de compresión, el diesel debe ingresar a la cámara de combustión de una manera bien determinada y en el momento adecuado, ya que el buen funcionamiento y el rendimiento del motor depende en gran medida de una inyección correcta. El lapso de tiempo que transcurre desde el momento de la inyección hasta el autoencendido se denomina retraso del encendido.

El retraso del encendido en los motores diesel produce el característico picado el cual ocurre al inicio de la combustión. El gran incremento de la presión en el momento de la combustión incontrolada produce una onda de impacto que se transmite por toda la cámara de combustión; esta onda choca contra el metal de la culata o contra la cabeza del pistón y produce un fuerte ruido metálico conocido como el picado en los motores diesel. La calidad del combustible utilizado influencia en gran medida para el retraso al encendido.

Una vez que las primeras gotas de combustible entran en contacto con el aire caliente dentro de la cámara de combustión, la temperatura se comienza a elevar hasta que todo el ambiente dentro del cilindro alcanza la temperatura de inflamación, lo cual desencadena el encendido de todo el combustible. Esta fase se conoce con el nombre de combustión incontrolada y se produce normalmente entre unos grados antes y después del punto muerto superior. En estos momentos, todo el combustible inyectado dentro de la cámara ya ha sido consumido totalmente y se ha completado el tercer ciclo de expansión y el cilindro se desplaza hasta su punto muerto inferior, transmitiendo así toda la energía del auto encendido del combustible al cigüeñal, y de esta manera iniciar la fuerza de giro que será pasado hasta las ruedas motrices.

Para el último ciclo de trabajo, el de escape de los gases, casi todo el combustible diesel utilizado para la combustión es quemado en su totalidad, produciendo una combustión completa, sin generar mayor contaminación para el medio ambiente. Todos los gases de escape producidos por el motor diesel, ya sea en una combustión completa o incompleta serán estudiados detalladamente más adelante.

Lo que se intenta obtener para un funcionamiento eficiente en el motor diesel, después del comienzo de la inflamación del combustible, es una combustión a presión constante; la cantidad de diesel inyectado debe ser solo la necesaria para quemarse con el aire que existe dentro de la cámara en ese espacio de tiempo, de manera que el aumento de presión es compensado por el descenso del pistón, manteniéndose así esta constante. Esta regulación del combustible se debe gracias al sistema de inyección, el cual comprende de los siguientes elementos: bomba de alimentación, bomba de inyección, regulador, variador de avance e inyectores.

La bomba de inyección a usarse en este estudio es del tipo de elementos en línea a carrera constante, la misma que dispone de un número de elementos de bombeo igual al de cilindros del motor. La bomba de inyección es la encargada de impulsar el combustible, en la cantidad exacta en la cámara de combustión por medio del inyector. Esta inyección de combustible es la parte más delicada y difícil para el buen desempeño del motor diesel, debido a que la presión a la que debe ser inyectado el combustible debe ser superior a la presión existente en ese momento dentro de la cámara de combustión. Además, el chorro de combustible suministrado debe ser finamente pulverizado, para que la combustión se inicie y se propague rápidamente a todo el volumen de la cámara de combustión.

No hay que olvidar también que el combustible debe ser repartido en igual medida por los inyectores a cada uno de los cilindros, e inyectarse en el momento oportuno, produciéndose muchas inyecciones en poco tiempo, sobre todo cuando el motor gira rápidamente.

La variación del volumen de combustible que es suministrado por la bomba de inyección determina la potencia y la velocidad del motor. Las bombas de inyección utilizan reguladores de velocidad para controlar el régimen de motor bajo determinadas condiciones, sea en el caso de ralentí o en velocidad de rotación máxima, los mismos que son controlados directamente por el conductor.

1.4 CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE DIESEL

El petróleo en su estado natural, es una mezcla de hidrocarburos, generalmente está compuesto por un 85% de carbono, 12% de hidrogeno, 1% de azufre, 1% de nitrógeno y 1% de oxígeno², aunque estas proporciones varían según el pozo del que se extrae. Este recurso proviene de la descomposición de vegetales y animales sometidos a gran presión y elevada temperatura en el interior de la corteza terrestre.

El petróleo es un recurso natural no renovable y en la actualidad es la principal fuente de energía en los países desarrollados, el cual aporta el mayor porcentaje del total de la energía que se consume en el mundo, y debido a que su importancia es fundamental para la industria manufacturera y el transporte, el incremento del precio del petróleo puede ser responsable de grandes variaciones en las economías locales y así mismo puede provocar un fuerte impacto en la economía global. Cuando sube el precio del petróleo se produce una subida

² Composición del Petróleo, www.info-petroleo.com

de los costes, de forma más o menos inmediata, en casi todos los sectores productivos y en consecuencia se nota en los precios de los bienes de consumo.

Este recurso se lo extrae mediante pozos petroleros de perforación, pero en su estado natural no puede ser inmediatamente usado como combustible, el petróleo debe ser destilado en refinerías sometiéndolo a elevadas temperaturas, por el cual se obtiene una serie de productos como la gasolina, el keroseno, el diesel, los aceites y las resinas y asfaltos. El mismo se lo calienta sin entrada de aire y los componentes evaporados se fraccionan, condensándose posteriormente por enfriamiento. El combustible diesel se obtiene de la evaporación del petróleo en temperaturas entre 210° y 360° C.

Los combustibles utilizados para motores de combustión interna son materias cuya energía química puede transformarse en calor y a continuación en trabajo mecánico en el motor. Sin embargo estos deben cumplir con determinadas exigencias para ser utilizadas, estas características son las que determinan la calidad del carburante y que a continuación se describen:

- a) El poder calorífico es el valor del contenido de energía del combustible, el cual es liberado cuando el combustible es quemado en su totalidad para posteriormente ser transformado en fuerza motriz, el mismo, varía con relación a las cantidades de hidrogeno y carbono; mientras más cantidad de hidrogeno posea, mayor es el poder calorífico y menor será el consumo de combustible. La gasolina y gasóleos empleados en automóviles comprende un poder calorífico entre 10.500 y 11.000 kcal/kg³.

³ Propiedades y características del combustible diesel, Wearcheck Ibérica, J. Ignacio Ciria

- b) La volatilidad es una de las propiedades importantes de un carburante, esta consiste en la facilidad que este posee para difundirse en el aire, es decir, de evaporarse. La volatilidad se determina incrementando la temperatura del líquido hasta lograr la evaporación. Si el combustible se evapora con una temperatura relativamente baja posee una gran volatilidad. El diesel por ejemplo es menos volátil que la gasolina.
- c) El consumo de aire es la cantidad de aire que se necesita para que la combustión de un carburante sea completa. Los motores diesel siempre trabajan con un exceso de aire, la relación estequiometrica aire/combustible en estos motores es aproximadamente de 20:1 a 25:1, es decir, para una combustión completa de un kilogramo de carburante son necesarios 20 o 25 Kg. de aire.
- d) El peso específico de un líquido hace referencia a la medida del peso del mismo comparada con el agua, de acuerdo a esto, el diesel es más ligero que el agua pero más pesado que la gasolina. Cuanto más pesado es el combustible, más energía tendrá almacenada por unidad de volumen. Si el peso específico de un combustible es bajo, mayor será el consumo del mismo por parte del motor, ya que éste es medido en volúmenes en los automóviles (litros por cada 100 km.). El límite superior del gasóleo en los motores de automóviles es de $0,89 \text{ kg/dm}^3$ ⁴.

El peso específico es de gran importancia para el buen funcionamiento del motor debido a que el combustible debe ser lo suficientemente pesado para conseguir el ingreso adecuado en la cámara de combustión. El combustible se inflamaría en el instante que ingresa a la cámara de combustión si su peso específico fuera demasiado bajo, y la fuerza producida solo se ejercería en una pequeña área del pistón en lugar

⁴ Propiedades y características del combustible diesel, Wearcheck Ibérica, J. Ignacio Ciria

de hacerlo sobre toda la superficie de su cabeza. En el diesel, el peso específico se mide de acuerdo a una escala americana (API) la cual da valores inversos a los pesos específicos, correspondiéndole al diesel un valor entre 35 y 40.

- e) La viscosidad tiene relación también con el peso específico y afecta directamente al modelo de pulverización del combustible en la cámara de combustión y a los componentes del sistema de inyección. El combustible con una viscosidad alta origina problemas en la bomba inyectora, puede tapar inyectores y sobrecarga de presión todo el sistema. Así mismo, también determina la forma de la pulverización en los inyectores, y es así como la alta viscosidad de un combustible causa atomización pobre, mientras que una baja viscosidad se pulveriza como una niebla fina fácilmente inflamable.
- f) La fluidez es la propiedad que tienen los combustibles a fluir libremente por su propio peso a la temperatura más baja posible. La temperatura afecta más al diesel que a la gasolina debido a que el primero contiene parafina, que es una sustancia cerosa común entre los combustibles destilados, la cual forma cristales cerosos en el combustible cuando la temperatura baja. Al acumularse estos cristales en los filtros de combustible, obstruyen el paso del mismo, ocasionando graves problemas en el sistema de inyección y un mal desempeño del motor.
- g) La inflamabilidad se define por el número de cetanos. El cetano es un hidrocarburo parafínico con una óptima facilidad de ignición (índice de 100). Cuanto más hidrocarburos con moléculas de estructura en cadena contenga un combustible diesel, tanto más propicio es al encendido. El diesel debe tener en lo posible, un número de cetanos comprendido entre 40 y 70. Este número o índice de cetanos tiene relación

directa con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el inicio de su combustión.

Una combustión de calidad se produce cuando la ignición del combustible es rápida, seguido por un quemado total y uniforme del carburante. Si el combustible tiene un índice bajo de cetanos, es decir, el combustible es poco resistente al autoencendido, se produce un perjudicial funcionamiento del motor, entre los efectos más destacados:

- El golpeteo en los motores diesel que es causado por la combustión brusca, produciendo un fuerte impacto sobre los pistones y los cojinetes.
- Se producen sedimentos en las cámaras de combustión, los cuales se forman en los segmentos y en los alrededores del pistón.
- La utilización de un combustible de baja calidad de encendido produce un arranque más difícil y periodos de calentamiento más largos, produciendo humo blanco de escape.
- Gases contaminantes, olores y humos aumentan en gran medida si el combustible utilizado es de menor calidad de encendido.

1.4.1. Gases producidos por el motor diesel.

Los gases de escape que produce el motor diesel contienen varios componentes que son nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Algunos de estos gases provocan enfermedades graves en el sistema respiratorio y en la piel, mientras que otros en ciertas condiciones, pueden provocar la muerte a corto o largo plazo.

Monóxido de carbono.- es un gas incoloro, insípido, parcialmente soluble en agua pero muy toxico. Este gas se obtiene de la combustión incompleta del carbón, madera, aceite y otros

combustibles productos del petróleo, debido a que en la combustión interviene insuficiente oxígeno. Las concentraciones de CO en el ambiente son generados en mayor proporción durante los climas fríos, debido a que las bajas temperaturas provocan que el proceso de la combustión dentro de la cámara sea menos completo.

El monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se respira en niveles elevados, ya que en pocos minutos, este gas sustituye al oxígeno en la hemoglobina de la sangre, impidiendo transportar el oxígeno a los pulmones, corazón y al cerebro. Los síntomas que se presentan por inhalación del monóxido de carbono se presentan de inmediato tras una exposición prolongada, estos síntomas son:

- Dolor de cabeza.
- Mareo.
- Náuseas.
- Confusión.
- Falta de aliento.
- Desvanecimiento.

Si estos síntomas se presentan se recomienda respirar aire puro y asistir rápidamente al servicio de urgencias de un hospital para ser tratado apropiadamente. La exposición a este gas también puede agravar enfermedades preexistentes del corazón y el sistema circulatorio. Un nivel máximo permitido de la inhalación del monóxido de carbono es de 10 mg/m^3 en 8 horas, que equivale a 9 partes por millón o de 30 mg/m^3 en una hora (26 PPM)⁵, ya que una exposición de 1.200 partes por millón o mayor, es inmediatamente dañino y hasta letal.

⁵ La Calidad del Aire en Quito, Informe Anual 2008, CORPAIRE

Dióxido de carbono.- es un gas incoloro, denso, poco reactivo y no inflamable. Está compuesto de dos átomos de oxígeno y un átomo de carbono y su fórmula química es CO_2 . Forma parte de la composición de la troposfera de nuestro planeta tierra, aproximadamente en una proporción de 380 partes por millón por volumen y su ciclo en la naturaleza está vinculado con el oxígeno. El dióxido de carbono es un importante gas de invernadero debido a ayuda a atrapar el calor en nuestra atmósfera, sin él nuestro planeta sería inhabitable por el frío; el problema radica en que este gas ha ido aumentando a raíz de la revolución industrial, debido a que más combustibles fósiles son quemados y liberados a la atmósfera, produciendo un aumento significativo de este gas en nuestra atmósfera.

Aproximadamente existe actualmente un 37% más de dióxido de carbono en nuestra atmósfera de lo que había a mediados del siglo XVIII; y solo este gas es el responsable del 90% del calentamiento por el efecto invernadero durante los últimos cinco años. Debido al aumento gradual de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera, producida en mayor medida por los medios de transporte, se espera que las emanaciones de este gas juegue un papel preocupante en el aumento de la temperatura de nuestro planeta en los años por venir.

Óxidos de azufre.- el azufre se encuentra naturalmente en el petróleo crudo, el mismo que puede ser encontrado en los combustibles si no es eliminado en los procesos de refinación del petróleo. Los óxidos de azufre son un grupo de gases compuestos por el dióxido de azufre (SO_2) y el trióxido de azufre (SO_3). El SO_2 es un gas incoloro, de olor fuerte, no inflamable e irritante y el cual puede permanecer en la atmósfera de 2 a 4 días. En los vehículos a diesel, al reducir las emisiones de dióxido de azufre, también se puede reducir significativamente las emisiones de partículas.

Cuando la combustión es rica en oxígeno, un porcentaje de SO_2 se oxida a SO_3 , el cual se disuelve en el vapor de agua presente para formar vapor de ácido sulfúrico (H_2SO_4); el mismo que parece ser el mecanismo primario para la iniciación de partículas ultra finas en el escape del diesel, produciendo partículas recién formadas de alrededor de un nanómetro. Estas partículas se dispersan en el ambiente en forma de lluvia ácida, provocando la destrucción de bosques, vida salvaje y la acidificación de las aguas superficiales.

Cuando se producen altas concentraciones en el ambiente del SO_2 , puede ocasionar problemas respiratorios, afectar las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos; siendo los niños, ancianos y las personas con problemas respiratorios o cardiovasculares los más afectados. La organización mundial de la salud (OMS) recomienda como límite para preservar la salud pública una concentración de 100 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio en 24 horas.

La reducción del azufre en el combustible diesel, conjuntamente con una mejor tecnología vehicular, puede significar resultados de gran valor para mejorar la calidad del aire. En la actualidad, en Estados Unidos y Europa, se está introduciendo diesel con 10-15 ppm de azufre; Sudamérica se encuentra en proceso de implementación de varias medidas regulatorias sobre la calidad del aire, reduciendo el azufre en el diesel a 50 ppm.

Óxidos de Nitrógeno.- el oxígeno al combinarse con el nitrógeno forman varios compuestos químicos gaseosos que reciben el nombre genérico de óxidos de nitrógeno, cuya abreviación es NO_x ; dichos óxidos son liberados al aire desde el escape de los automotores, de la combustión del carbón y durante procesos como la soldadura de arco. Algunos de los compuestos producidos por los óxidos de nitrógeno dan origen a importantes impactos medio ambientales y en la salud de las personas, estos son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2), de los cuales ninguno de los dos es inflamable.

El óxido nítrico o monóxido de nitrógeno es un gas de olor dulce penetrante a temperatura ambiente y fácilmente oxidable a dióxido de nitrógeno debido a que cuando el óxido nítrico es emitido por los automóviles se combina con el oxígeno presente en el ambiente y por la acción de la luz solar produce NO_2 , es por eso que el óxido nítrico es emitido directamente en mayor frecuencia a la atmósfera. En los seres humanos este gas ayuda a mantener la presión de la sangre, además ayuda en la respuesta inmunológica de eliminación de organismos extraños y es esencial para la conservación de la memoria a largo plazo.

El dióxido de nitrógeno tiene un olor fuerte desagradable y es un contaminante común, forma en el aire una capa rojiza y marrón la cual se puede apreciar sobre muchas zonas urbanas de las ciudades. El NO_2 cuando reacciona con la luz solar lleva a la formación de ozono y smog en el aire que respiramos o así mismo puede convertirse en el aire en ácido nítrico, uno de los agentes que provocan que el agua que cae de las nubes se vuelva tóxica, produciendo la conocida lluvia ácida, provocando grandes daños en la naturaleza y en los edificios. En lo que concierne a la salud, el respirar bajos niveles de dióxido de nitrógeno afecta el aparato respiratorio, irrita la piel y las mucosas, frena el crecimiento y provoca diversas lesiones.

Tanto el monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno, si son inhalados en grandes proporciones, puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos de la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación en los tejidos del cuerpo, acumulación de líquido en los pulmones y la muerte. Por lo que en la actualidad se busca disminuir las emisiones de este gas para contribuir a mejorar el medio ambiente y la calidad del aire que respiramos todos los seres humanos; siendo la tecnología desarrollada por las diversas marcas automotrices y las nuevas reglamentaciones las que ayudan a limitar la expulsión de estos gases, producidos en su mayoría por los motores diesel.

Hidrocarburos no quemados.- los hidrocarburos no quemados resultan de la combustión incompleta y de los procesos de refinación del petróleo los cuales son liberados en el aire; los hidrocarburos no son más que compuestos orgánicos formados únicamente por átomos de hidrogeno y carbono y son moléculas cruciales de almacenamiento de energía que se encuentran en todos los principales tipos de combustibles fósiles.

Los hidrocarburos no quemados tienen un efecto negativo en el ambiente, debido a que cuando se combinan con los óxidos de nitrógeno y en presencia de la luz solar, dan lugar a la formación de oxidantes fotoquímicos conocidos como smog. En el combustible diesel, uno de los hidrocarburos que se encuentra presente son los hidrocarburos aromáticos, los mismos que contienen una o más estructuras de anillos como benceno, haciéndolos más densos y tienen cualidades de autoignición más pobre, lo que produce más hollín al momento de quemarse.

Mientras más alto sea el porcentaje de aromáticos contenidos en el combustible, menor será el número de cetanos en el mismo; por ejemplo en un combustible diesel “straight run”, el porcentaje por volumen de hidrocarburos aromáticos es de 20% a 25% y su valor de cetanos es de 50 a 55⁶, considerándolo un diesel de muy buena calidad, pero en una mezcla de diesel catalíticamente fraccionado, posee un porcentaje de aromáticos de 40% a 50% y su número de cetanos cae a 40 o 45 e incluso puede llegar a rangos menores.

Esto produce en los motores una mayor dificultad de arranque en frío, un aumento en el ruido de combustión y se incrementan los valores contaminantes de hidrocarburos no quemados y de los óxidos de nitrógeno, debido al atraso mayor en la ignición.

⁶ Iniciativa de Aire Limpio en las Ciudades de Latino América, Diesel más Limpio 2009.

Un índice alto de hidrocarburos aromáticos también está correlacionado con mayores emisiones de partículas y tienen mayor tendencia a formar hollín en la combustión y así mismo a formar depósitos sobre los inyectores y otros componentes importantes del motor, lo que también ocasiona un aumento de los gases contaminantes de escape.

Material Particulado del Diesel.- el material particulado del diesel es una compleja mezcla de partículas originadas principalmente del carbono, y que pueden ser tanto sólidas como líquidas; estas partículas o PM son formadas por la quema del combustible en la cámara de combustión, las cuales salen por el tubo de escape del motor y que quedan suspendidas en el aire que se respira.

El material particulado también puede ser emitido al ambiente a causa de fuentes naturales y otras actividades humanas o como de algunos procesos industriales. Debido a que la composición del PM en el diesel depende directamente del motor, su carga y la velocidad, estas son divididas para un mejor estudio en tres partes básicas que son:

- Sólidos.- son partículas de carbón seco o más conocido como hollín.
- FOS.- son hidrocarburos pesados absorbidos y condensados en partículas de carbón, también llamados fracción orgánica soluble.
- SO₄.- es el radical sulfato, ácido sulfúrico hidratado.

En la actualidad, el material particulado ya es clasificado por algunos países como cancerígeno o probablemente cancerígeno para el ser humano y una exposición tanto a corto como a largo plazo a este tipo de contaminante puede ocasionar:

- Incremento a la susceptibilidad a las infecciones respiratorias y también puede agravar enfermedades respiratorias existentes, como por ejemplo el asma, la bronquitis crónica, etc.
- Aumento del riesgo de un paro cardiaco.
- Daño funcional en los pulmones.
- Se estima que el riesgo de morir prematuramente aumenta en un 2% a 8% por cada incremento de 50 mg de PM₁₀.

Ozono (O₃).- el ozono es una molécula formada por 3 átomos de oxígeno, es un gas incoloro e inodoro, de color azul pálido y químicamente es un compuesto muy activo debido a que es un fuerte oxidante, llegando a eliminar absolutamente bacterias, virus, hongos, parásitos y olores presentes en el aire y es por eso que es usado en la industria como precursor en la síntesis de algunos compuestos orgánicos, y sobre todo en productos desinfectantes de uso diario. El ozono es encontrado naturalmente en nuestro planeta en la estratosfera, localizada entre los 11 y los 50 Km. de altitud, y en ese estado, es beneficiosa para todos los seres vivos por la protección que brinda de los rayos ultravioleta procedentes del Sol, sin esta protección, la vida en nuestro planeta sería imposible.

Sin embargo, el ozono al nivel del suelo se convierte en un gran problema debido a que es altamente tóxico para los seres humanos. Se produce al reaccionar con otros productos como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, con presencia de abundante luz solar, y es por eso que se registran mayores niveles de ozono durante los días más calurosos, despejados y con poco viento; siendo las zonas urbanas las más afectadas debido a que las principales fuentes de emisión son los automóviles y las plantas industriales.

La contaminación por ozono como se dijo anteriormente, tiene un gran impacto en la salud de los seres humanos, penetrando por las vías respiratorias y debido a su alta propiedad oxidante provoca:

- Irritación de las mucosas y del sistema respiratorio, produciendo tos, irritación de la garganta, dolores de cabeza y del pecho.
- Reducción de la función pulmonar producto de la irritación provocada a los tejidos del mismo, haciendo más difícil la respiración para la persona afectada y en casos de una inhalación continua o en altas proporciones de este gas puede provocar daños permanentes en el pulmón.
- Empeoramiento del asma en las personas con esta enfermedad. El ozono hace a estas personas más sensibles a las alergias, produciéndoles ataques de asma.
- Reducción de la habilidad del cuerpo para combatir infecciones en el sistema respiratorio.

El efecto altamente oxidante del ozono, provoca daños en los edificios y en los monumentos históricos de las ciudades. Además, a niveles muy altos, también es perjudicial para el resto de seres vivos, afectando el crecimiento de las plantas y su actividad fotosintética, como resultado, se disminuye la vegetación y se afecta la producción agrícola. Pero más importante aún, el ozono contribuye a incrementar el efecto invernadero en nuestro planeta, aunque su presencia en el ambiente es inferior a la de los otros gases como los dióxidos de carbono o los óxidos de nitrógeno.

1.5. CONTAMINACIÓN VEHICULAR EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.

Dada a la demografía que sufre la capital de los ecuatorianos, el estar ubicado en un valle rodeado por altas montañas, impide la circulación de vientos y dificultando la dispersión de los gases contaminantes que se depositan en el aire, y además la altura a la que está ubicada la ciudad, permite una gran radiación solar la que fotoquímicamente transforma a los contaminantes en oxidantes.

Gran cantidad de estas emisiones contaminantes son aportadas por la industria y el transporte, y en la actualidad, en el Distrito Metropolitano de Quito existe un parque automotor de más de 395.000 vehículos y 22.000 motos⁷, los cuales representan un tercio del total nacional, y el 34% del combustible que se consume por estas fuentes móviles es el diesel Premium. Es por eso que la contaminación a combatir requiere de un esfuerzo permanente y creciente de los sectores públicos y privados, sin dejar de lado también la participación de todos los habitantes.

Es cuando en el 2004, el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito crea una estructura institucional que posibilite una gestión adecuada de la calidad del aire, institución llamada CORPAIRE (Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito), la cual es de carácter privado, sin fines de lucro y que está conformado por un directorio como el Municipio, la Policía Nacional, el Consejo Nacional de Tránsito y Transporte terrestre, Fundación Natural y la escuela Politécnica Nacional. La CORPAIRE está constituida por dos unidades técnicas: el monitoreo atmosférico y la reducción de emisiones vehiculares.

- a) La Revisión Técnica Vehicular (RTV) tiene por objetivo primordial garantizar las condiciones mínimas de seguridad de los vehículos basadas en los criterios de diseño y fabricación de los mismos; además, comprobar que cumplen con las normas

⁷ Estadísticas de la Corporación para el Mejoramiento del Aire (CORPAIRE), Quito-Ecuador 2010.

técnicas y jurídicas que les incumbe y que mantienen un nivel de emisiones contaminantes que no supere los límites máximos establecidos en las regulaciones vigentes; siendo la aprobación del vehículo un requisito de carácter obligatorio para circular en la ciudad y para acceder a su matriculación.

- b) La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) está constituida por cinco subsistemas complementarios que permiten generar información respecto al comportamiento de los contaminantes medidos y de la meteorología local. Su función principal es de proporcionar a los habitantes de la ciudad y a las autoridades datos de la calidad del aire que respiramos, presentando los datos de manera comprensible para proteger la salud y el bienestar de las personas.

El monitoreo continuo del aire que se respira en el Distrito Metropolitano de Quito es una herramienta fundamental, ya que la información que produce puede ser utilizada para el diseño, implementación y evaluación de políticas de control de las fuentes generadoras de emisiones contaminantes (siendo nuestro caso los vehículos que trabajan con combustible diesel) y de las acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del recurso; en especial si se trata de ciudades de altura como Quito, que por causa de sus condiciones climáticas y su topografía, afectan directamente a la eficiencia del parque automotor, haciéndolos más propensos a experimentar episodios graves de contaminación atmosférica lo que conlleva a peligros potenciales para la salud de sus habitantes.

Los graves problemas del flujo de tránsito en la ciudad de Quito, en la mayor parte del día, hacen que los vehículos aumenten el tiempo para moverse dentro de la ciudad, provocando que aumente y que se concentre la contaminación que se produce por la quema de mas

combustible; combustible que no cumple con especificaciones internacionales para los motores que lo consumen, y es por eso que el consumo de una gasolina o diesel con altos estándares de calidad favorece a la reducción de gases contaminantes en el medio ambiente, por lo cual el combustible que se distribuye en el Ecuador será analizado más adelante en el estudio del proyecto.

1.5.1.- Calidad de los Combustibles.

Es indiscutible que existe una relación directa entre la calidad del aire que se respira y la calidad de los combustibles que se usa para los vehículos. Al dejar de lado las consideraciones ambientales en la definición de los parámetros de la calidad de combustibles, se provocara sin duda mayores niveles de contaminación y al mismo tiempo será un obstáculo para el desarrollo y la introducción de nuevas tecnologías, con mejor desempeño ambiental y con mas alta eficiencia energética.

La generación de una política nacional se ha retrasado considerablemente para nuestro país, y es por eso que al momento de decidir sobre la calidad del combustible a usarse, su manejo y producción se toman en consideración exclusivamente los aspectos económicos.

Para el uso de tecnologías de control de emisiones en los vehículos se debe tener unos niveles de 500 ppm de azufre y menores como actualmente se está empleando en Europa, Asia y Estados Unidos. Bajar el azufre en los combustibles a niveles del 0,05% y menores, reduce las fracciones de óxidos de azufre y del material particulado significativamente, y también se disminuye de esta manera la masa total del material particulado emitido a la atmosfera.

La causa principal por la cual se busca reducir el azufre en los combustibles es debido a que después de la combustión del diesel, un porcentaje de dióxido de azufre se combina con el

oxígeno del ambiente y se oxida a SO_3 , el mismo que se disuelve en el vapor de agua presente para formar vapor de ácido sulfúrico. El H_2SO_4 es una sustancia nociva para la salud de los seres humanos, y además de la formación de hollín, es el mecanismo primario para la iniciación de partículas ultra finas en el escape de los motores diesel, partículas que tienen un tamaño de alrededor de 1 nanómetro.

Esta nanopartícula de sulfato representa solo una pequeña fracción del volumen o masa de partícula pero es la responsable de una gran fracción de números de partículas y provee un área relativamente grande de superficie sobre la cual las especies de HC se condensan, lo que provoca un crecimiento de partículas y también incrementa la toxicidad de las mismas ya que se ha determinado que el material particulado del diesel es un cancerígeno humano, haciendo al azufre y al material particulado del SO_x un contaminante directo.

Pero más importante aún, es que el azufre detiene la implementación de la mayoría de las tecnologías de control de emisiones debido a que ninguna estrategia significativa de reducción por el control de gases contaminantes puede lograrse sin disminuir el porcentaje de azufre cerca a cero, ya que de esta forma se logra el uso de absorbedores de óxidos de nitrógeno, incrementando un control de NO_x por encima del 90% y filtros de partículas que se aproxima al 100% en control de PM.

La calidad del combustible diesel de uso automotriz que se expendía en la ciudad de Quito hasta Marzo del 2006 era de 7000 ppm de contenido de azufre; y desde abril del 2006 hasta la presente fecha, gracias a PETROECUADOR, se comercializa en la capital y en la ciudad de Cuenca un diesel de bajo contenido de azufre, con un límite máximo de hasta 500 ppm de azufre; sin embargo en el resto del país se sigue distribuyendo diesel con 7000 ppm de azufre (Diesel 2).

Actualmente los países de Sudamérica se encuentran en un proceso de implementación de algunas medidas para regular y mejorar la calidad del aire y entre estas se encuentran estándares para las emisiones de los automóviles basándose en los modelos europeos y estadounidenses, y estándares más estrictos para la calidad de los combustibles. En el Ecuador, con la ayuda de CORPAIRE, por su trabajo activo en los Comités Técnicos del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) sobre la calidad de los combustibles, se ha logrado que las autoridades sobre el tema asuman la responsabilidad que les corresponde, dando como resultado la eliminación del plomo en las gasolinas; y ahora se tiene como nuevo objetivo la reducción drástica del contenido de azufre en los combustibles de uso vehicular en toda Latinoamérica, siendo Chile y Brasil los primeros en tomar esta iniciativa para el cambio.

Pero esta iniciativa ha sido impulsada por la Asociación para Combustibles y Vehículos Limpios (PCFV por sus siglas en inglés) el cual opera bajo el auspicio del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, la cual es encargada en promover una mejor calidad del aire urbano a nivel mundial, involucrando a más de 90 prestigiosas agencias ambientales alrededor del planeta, que contando con el apoyo de gobiernos, municipios, organizaciones internacionales y ONGs, tienen como objetivo principal el “reducir el azufre a 50 ppm o menos en los combustibles para vehículos a nivel mundial, con vehículos y tecnología vehicular limpios, con agendas regionales y nacionales.”

En síntesis, reducir el azufre en la gasolina y en el diesel es la clave para disminuir el impacto tanto local como global de la emisión de gases contaminantes de los motores; permitiendo así el paso a un alto nivel en las mejoras de la tecnología vehicular, y sin duda se obtendrían resultados importantes para mejorar la calidad del aire y así reducir los costos relacionados al cuidado de la salud y beneficiando al mismo tiempo al medio ambiente.

1.5.2. Calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito.

El monitoreo del aire es una herramienta clave para hacer realidad el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y de esta manera contribuir al mejoramiento de su calidad de vida. El parque vehicular del Distrito Metropolitano de Quito es responsable de cerca del 98% de las emisiones CO, 44% de HC, 82% de NO_x, 50 % de PM_{2.5} y 52% de SO₂⁸. Hay que considerar, que en cuanto al parque de buses, a pesar de que su antigüedad promedio es de 6.4 años, es menor que la del resto del país, pero esta es una tecnología equivalente a la Euro II, que para estándares internacionales de emisiones resulta prácticamente obsoleta.

Con la ayuda de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), se puede obtener datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el territorio del DMQ, esta cuenta con nueve estaciones de monitoreo con capacidad para analizar continua y automáticamente los siguientes contaminantes comunes del aire:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de Azufre (SO₂)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- Ozono (O₃)
- Material particulado fino o de diámetro menor a 2.5 micras (PM_{2.5})

Así mismo, la REMMAQ cuenta con cinco subsistemas complementarios que generan información acerca del comportamiento de los contaminantes medidos y de la meteorología local, los mismos que son descritos a continuación para su mayor entendimiento y así conocer la función que cumplen para el manejo de datos de la calidad del aire de la ciudad de Quito:

⁸ La Calidad del Aire en Quito, Informe Anual 2008, CORPAIRE

1. Red Automática de Calidad del Aire (RAUTO), la cual está constituida por ocho estaciones desplegadas en línea en las ocho administraciones zonales del Distrito Metropolitano de Quito, mas una adicional de respaldo; todas equipadas con analizadores automáticos para gases (SO₂, CO, O₃, NO_x) y material particulado respirable fino PM_{2.5}. Estas estaciones operan de manera permanente y continúa las 24 horas del día, todos los días del año y generando promedios cada 10 minutos. Además la RAUTO tiene equipos de referencia (SO₂, CO, NO_x) y un multicalibrador de precisión para el laboratorio de estándares, lo que le permite calibrar los analizadores de las estaciones y controlar la calidad de las mediciones y de los datos.
2. Red de Monitoreo Pasivo (REMPA), la cual permite realizar un muestreo simultaneo en 44 puntos, distribuidos a lo largo y a lo ancho del Distrito Metropolitano de Quito, ubicadas en zonas de alta concentración de población y sometidas a alto tráfico vehicular. Los contaminantes que se analizan son: NO₂, con exposición de monitores de 30 días por mes; O₃ con exposición de monitores de 10 días, 2 veces cada mes; SO₂, monitoreado con tiempos de exposición de 30 días por mes.
3. Red de Deposito (REDEP), la cual está conformada por 33 puntos de monitoreo en el Distrito Metropolitano de Quito, para conocer la concentración de material particulado sedimentable o polvo, contaminante identificado en la normativa nacional.
4. Red Activa de Material Particulado (RAPAR), la cual está compuesta por tres muestreadores activos semiautomáticos de alto volumen para partículas totales en suspensión (PTS), cinco para material particulado respirable de diámetro menor a 10 micras (PM₁₀) y dos para material particulado fino de diámetro menor a 2.5 micras (PM_{2.5}). El muestreo de material particulado se realiza durante 24 horas cada seis

días, en conformidad con la metodología dispuesta en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiental.

5. Red Meteorológica (REMET), la cual se encuentra instalada en seis de las nueve estaciones automáticas de monitoreo de calidad del aire, con sensores automáticos para medir a velocidad y dirección del viento, humedad relativa, temperatura, radiación solar, presión atmosférica y precipitación; esta red cuenta además con un solar Sodar-Rass que es el único perfilador vertical de la atmosfera existente en el país.

Los métodos de medición tomados en cada una de los subsistemas de la REMMAQ son los establecidos en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiental. Esta Norma es parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, establecida en el Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo 4, vigente desde marzo del 2003.

En la siguiente tabla se ha nombrado a los contaminantes que se tienen en cuenta en la Norma Ecuatoriana, detallando los niveles de concentración máxima permitidos en concordancia con los promedios de medición establecidos y los criterios de excedencia anual permitidos:

Tabla 1.1. Niveles de concentración máxima permitidos por gas⁹

Contaminante	Valor	Unidad	Promedio de medición	Excedencia
Partículas Sedimentables	1	mg/(cm ² x30d)	Acumulado en 30 días	No se permite
PM ₁₀	50	µg/m ³	Promedio aritmético anual	No se permite
	150	µg/m ³	Promedio aritmético de 24 horas consecutivas	2 veces por año
PM _{2.5}	15	µg/m ³	Promedio aritmético anual	No se permite
	65	µg/m ³	Promedio aritmético de 24 horas consecutivas	2 veces por año
SO ₂	80	µg/m ³	Promedio aritmético anual	No se permite
	350	µg/m ³	Promedio aritmético de 24 horas consecutivas	1 vez por año

⁹ Elaborado por: Jorge Acosta, Fuente: Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Ministerio del Ambiente, 2003).

CO	10	mg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas consecutivas	1 vez por año
	40	mg/m ³	Media aritmética horaria	1 vez por año
O ₃	120	µg/m ³	Promedio aritmético móvil de 8 horas consecutivas	1 vez por año
	160	µg/m ³	Media aritmética horaria	1 vez por año
NO ₂	100	µg/m ³	Media aritmética anual	No se permite
	150	µg/m ³	Promedio aritmético de 24 horas consecutivas	2 veces por año

Pero cabe señalar que la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiental debe ser revisada y modificada periódicamente para poder acercarse a las normas europeas actuales, las cuales son más exigentes en cuanto a niveles permitidos de contaminación y de esta manera poder establecer políticas y planes de acción con objetivos de gestión fijos, mejorando la calidad del aire que se respira en la ciudad de Quito.

Pero además se necesita que toda la población conozca el nivel de contaminación que existe en la ciudad para que de esa manera también sean participes y puedan tomar medidas de control y minimizar su impacto de contaminación; y para poder entender los datos generados por las subestaciones de la REMMAQ y conocer si están dentro de los rangos admisibles contemplados por la Norma Ecuatoriana, se ha creado una herramienta útil que es el Índice Quiteño de la Calidad del Aire (IQCA), la cual proporciona información confiable y fácilmente entendible para todos los habitantes del DMQ sobre la calidad del aire.

Los datos proporcionados son transformados a una escala numérica y de colores común para todos los contaminantes, estableciendo rangos en función de los efectos sobre la salud humana que tienen los diferentes niveles de contaminación. La escala va de 0 a 500, definiendo 6 niveles o categorías y mientras más alto sea el valor del IQCA, mayor será el nivel de contaminación y el peligro para la salud humana; y es así como se puede apreciar en la siguiente tabla el significado que tiene cada color y categoría:

Tabla 1.2. Rangos, significados y colores de las categorías del IQCA¹⁰

Rangos	Condición desde el punto de vista de la salud	Color de identificación
0 – 50	Óptima.	Blanco
50 – 100	Buena.	Verde
100 – 200	No saludable para individuos extremadamente sensibles (enfermos crónicos y convalecientes).	Gris
200 – 300	No saludable para individuos sensibles (enfermos).	Amarillo
300 – 400	No saludable para la mayoría de la población y peligrosa para individuos sensibles.	Naranja
400 – 500	Peligrosa para toda la población.	Rojo

Teniendo en cuenta el significado de colores, en la siguiente tabla se expresa los rangos en los que entran cada contaminante para la salud que se mide en el Distrito Metropolitano de Quito y los mismos que pueden ser consultados vía internet en cualquier momento y para cualquier punto de la ciudad:

Tabla 1.3. Límites numéricos de cada categoría del IQCA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)¹¹

Rango	Categoría	CO ^a	O ₃ ^b	NO ₂ ^c	SO ₂ ^d	PM _{2.5} ^e
0 – 50	Nivel deseable u óptimo	0 – 5 000	0 – 80	0 – 100	0 – 175	0 – 33
51 – 100	Nivel aceptable o bueno	5 001 – 10 000	81 – 160	101 – 200	176 – 350	34 – 65
101 – 200	Nivel de precaución	10 001 – 15 000	161 – 300	200 – 1 200	351 – 800	66 – 150
201 – 300	Nivel de alerta	15 001 – 30 000	301 – 600	1 201 – 2 300	801 – 1 600	151 – 250
301 – 400	Nivel de alarma	30 001 – 40 000	601 – 800	2 301 – 3 000	1 601 – 2 100	251 – 350
401 – 500	Nivel de emergencia	> 40 000	> 800	> 3 000	> 2 100	> 350

Notas: a. Se refiere a la concentración promedio en 8 horas
 b. Se refiere a la concentración promedio en 1 hora
 c. Se refiere a la concentración promedio en 1 hora
 d. Se refiere a la concentración promedio en 24 horas
 e. Se refiere a la concentración promedio en 24 horas

¹⁰ Índice Quitoño de la Calidad del Aire, CORPAIRE 2004

¹¹ Índice Quitoño de la Calidad del Aire, CORPAIRE 2004

Todos los datos capturados por la Red Metropolitana de Aire Atmosférico han tenido una eficiencia por encima del 95%, permitiendo controlar continuamente la calidad del aire en tiempo real en la ciudad de Quito. En el año 2008 se observó que las concentraciones anuales de los gases censados tuvieron una disminución considerable, y mucho se debe gracias a la revisión técnica vehicular realizada y al diesel de mejor calidad distribuida dentro de la ciudad. A continuación se presenta un resumen de los gases y de su valor actual registrado:

- Material particulado respirable (PM_{2.5}).- actualmente la norma promedio anual de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ es superada en tres de las 5 estaciones de monitoreo. El promedio general de las concentraciones de todos los puntos se registró en 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el menor del periodo 2005-2008. Para el mes de julio del 2009 la media se encuentra en 23,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, un valor alto para la Norma Ecuatoriana.
- Material particulado respirable (PM₁₀).- no se registran excedencias en las concentraciones máximas en 24 horas (150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en todas las muestras colectadas. En el año 2008 se registró el valor más bajo, en un valor de 30,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Dióxido de azufre (SO₂).- en todas las estaciones se registran valores inferiores a la Norma Ecuatoriana de 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo la estación que registra el valor más alto de este contaminante la de El Camal.
- Monóxido de carbono (CO).- las concentraciones de este gas no superan la Norma promedio para una hora de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ni para ocho horas de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Actualmente se encuentra en un valor de 10,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- Ozono (O₃).- en los últimos 3 años este valor no ha superado la norma promedio de una hora de 160 µg/m³ ni al promedio de ocho horas de 120 µg/m³. En este último mes de julio del 2009 se ha registrado un valor de 30,2 µg/m³.
- Dióxido de nitrógeno (NO₂).- los valores registrados por las estaciones demuestran que este valor no ha superado la norma promedio anual de 100 µg/m³ y es así como tenemos registrado un valor actual de 23,4 µg/m³.

Tabla 1.4. Valores de las concentraciones de los gases registrados de 2004 a 2008¹²

Contaminante	2004	2005	2006	2007	2008
Part. Sedimentables		0.80	0.64	0.76	0.54
PM ₁₀	56.42	56.83	28.68	32.69	30.09
PM _{2.5}		21.15	19.17	19.05	17.24
SO ₂	12.09	14.63	10.02	6.95	7.69
CO (mg/m ³)	1.29	1.05	0.91	0.83	0.80
O ₃	30.41	24.19	24.44	25.27	23.52
NO ₂	28.78	26.26	23.68	22.43	23.71

Con esta información se puede verificar que las concentraciones de gases contaminantes han disminuido en el año 2008, principalmente el material particulado PM_{2.5} en 18%, material particulado PM₁₀ en 47%, dióxido de azufre en 47% y monóxido de carbono en 24%; pero no por esta razón se consideran aceptables estos niveles, por lo que la norma ecuatoriana debe ser revisada y actualizada. Igualmente es importante recordar que la introducción de

¹² Elaborado por: Jorge Acosta, Fuente: Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito 2008, www.corpaire.org

nuevas tecnologías automotrices y de combustible diesel de mejor calidad es indispensable para mejorar la calidad del aire que se respira en la ciudad de Quito.

CAPITULO 2

COMPONENTES A IMPLEMENTAR AL MOTOR DIESEL PARA SU ÓPTIMO FUNCIONAMIENTO CON ACEITE VEGETAL

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE VEGETAL

El aceite vegetal es un compuesto orgánico que se obtiene a partir de semillas o de otras partes de la planta, las mismas que guardan la energía solar bioquímica en mayor densidad.

El aceite vegetal está compuesto principalmente por triglicéridos los mismos que son una fuente importante de antioxidantes naturales y de las semillas que se extrae del aceite para el consumo humano como el girasol, soja, palma, maíz, arroz, nuez, etc.

El proceso de obtención del aceite vegetal puede ser tanto de manera mecánica como química. El proceso mecánico es relativamente simple que consiste en un prensado a baja temperatura y del filtrado del producto para eliminar impurezas, este proceso es conveniente dado que el residuo del prensado se utiliza como alimento para el ganado por su rico contenido en proteínas. El método químico en cambio utiliza disolventes, generalmente el hexano, proceso que es más rápido y barato; consiguiendo un rendimiento del 98% comparado con el proceso mecánico que se tiene un rendimiento del 77 al 87 %¹³.

Actualmente el aceite de canola se lo utiliza principalmente por sus beneficios nutricionales ya que es eficaz para reducir las enfermedades cardiovasculares gracias a su aporte de ácidos grasos esenciales, especialmente los del tipo Omega 3 y también contiene vitamina E lo que le confiere propiedades antioxidantes.

En el capítulo anterior se analizó las características químicas y físicas del diesel el mismo que se asemeja en ciertas características al aceite de canola por lo que se seleccionó este tipo de aceite para desarrollar el proyecto de investigación.

A continuación se presentan la tabla de las propiedades del diesel y del aceite de canola debido a que es lo más importante que se debe tener en consideración para el desarrollo del proyecto:

Tabla 2.1. Características del diesel y del aceite vegetal.¹⁴

	DIESEL	ACEITE VEGETAL
Densidad	890 kg/m ³	900 a 930 kg/m ³
Punto de inflamación	>51 °C	220 °C
Viscosidad cinemática	6 cSt	38 cSt
Valor calorífico	43890 kJ/kg	35000 kJ/kg

¹³ Widmann, B. Investigation of plants in practice to optimize the process. Universidad de Munich, Centro de Ingeniería Agrícola.

¹⁴ Elaborado por: Jorge Acosta, Fuente: Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel 05/2000.

Contenido energético	9,8 kWh por litro	9,2 kW/h por litro
-----------------------------	-------------------	--------------------

En el Ecuador el tipo de aceite de canola que se puede encontrar en el mercado con más facilidad es de la marca La Favorita Omega, el cual es aceite puro de canola, aunque también existen marcas importadas pero no es tan fácil de encontrar en todos los supermercados y su precio es más elevado.

El precio del aceite de canola a utilizarse en el proyecto es de \$ 2,47 el litro, precio que se calcula desde su etapa de producción, por lo que se considera primeramente el rendimiento que tiene cada semilla de canola que es aproximadamente de 1800 kg/ha y cada semilla produce un rinde de aceite del 42% por lo que una hectárea llega a producir alrededor de 700 litros de aceite. Posteriormente se debe calcular los gastos que son necesarios para el cultivo de la canola por hectárea cosechada como es la mano de obra, herbicidas, fertilizantes, etc. valor que llega aproximadamente a los \$ 232 dólares, valor que se divide para la cantidad de litros de aceite que se obtiene por cada hectárea, dando un costo aproximado de \$ 0,33 el litro de aceite de canola. Pero a este valor se le agrega el proceso de refinado para el consumo humano, el envasado, el costo de distribución, etc. por lo que el precio de venta al público se aumenta considerablemente.

Además para el proyecto a realizarse se debe tener en consideración el tipo de aceite a utilizarse clasificándolos en dos tipos principalmente:

1. Aceite vegetal no modificado o directo el cual es el aceite de consumo humano que se puede encontrar a la venta en cualquier tienda o supermercado.
2. Aceite vegetal de residuos que consiste básicamente en el aceite usado, este es desechado después de freír los alimentos y que requiere de filtrado para que quede limpio y poder ser utilizado como combustible.

Esta es una de las razones por la que al aceite vegetal se le considera una fuente de energía renovable, poseyendo un contenido energético aproximado de 9,2 kW/h por litro, el cual se encuentra entre los valores de 8,6 kWh por litro de la gasolina y 9,8 kWh por litro del diesel¹⁵. Además el aceite vegetal de canola presenta las siguientes ventajas al ser usado como combustible para vehículos:




- Al quemarse emite menos hollín.
- Posee un gran valor calorífico.
- No es tóxico ni dañino para humanos, animales, suelos o agua.
- Es fácil de almacenar, transportar y utilizar.
- No es inflamable ni explosivo.
- No causa daños al ecosistema si accidentalmente se derrama.
- No requiere de tomar precauciones especiales para su manejo.
- Es una forma reciclable de energía.

Pero tal vez una de las principales ventajas que presenta son los gases de escape que se emiten después de su combustión, debido a que el aceite vegetal está libre de sulfuros; además los pocos estudios realizados al aceite vegetal demuestran que se producen emisiones menores en la mayoría de contaminantes pero en las emisiones de NOx y partículas ultra finas demuestran una tendencia igual o ligeramente mayor. Pero las emisiones producidas, tanto como por el combustible diesel, como del aceite vegetal serán comprobadas en los siguientes capítulos de este proyecto, generando datos específicos de cada gas emitido a la atmósfera.

Tabla 2.2. Estándar de calidad del aceite de canola¹⁶

¹⁵ Asociación Federal del Aceite Vegetal, E. V. Herrn Prof. Dr. Schrimppf, Documento "Combustible del Futuro"

¹⁶ Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel 05/2000, ELSBETT Tecnología GmbH

	LTV-Work-Session on Decentral Vegetable Oil Production, Weihenstephan		in Cooperation with:	
	Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel (RK-Qualitätsstandard)		 	
		05/2000		
Properties / Contents	Unit	Limiting Value		Testing Method
		min.	max.	
<i>characteristic properties for Rapeseed Oil</i>				
Density (15 °C)	kg/m ³	900	930	DIN EN ISO 3675 DIN EN ISO 12185
Flash Point by P.-M.	°C	220		DIN EN 22719
Caloric Value	kJ/kg	35000		DIN 51900-3
Kinematic Viscosity (40 °C)	mm ² /s		38	DIN EN ISO 3104
Low Temperature Behaviour				Rotational Viscometer (testing conditions will be developed) (werden erarbeitet)
Cetane Number				Testing method will be reviewed
Carbon Residue	Mass-%		0.40	DIN EN ISO 10370
Iodine Number	g/100 g	100	120	DIN 53241-1
Sulphur Content	mg/kg		20	ASTM D5453-93
<i>variable properties</i>				
Contamination	mg/kg		25	DIN EN 12662
Acid Value	mg KOH/g		2.0	DIN EN ISO 680
Oxidation Stability (110 °C)	h	5.0		ISO 6886
Phosphorus Content	mg/kg		15	ASTM D3231-99
Ash Content	Mass-%		0.01	DIN EN ISO 6245
Water Content	Mass-%		0.075	pr EN ISO 12937

2.1.1. Controversia del uso del aceite vegetal como combustible.

La búsqueda continua por una nueva fuente de energía capaz de sustituir al petróleo, ha derivado en que actualmente se produzca un gran debate sobre la producción agrícola de los cultivos alimenticios usados como potenciales generadores de energía para los vehículos, llegando a tal punto que pueda ocasionar una hambruna masiva, en especial en los países pobres.

Pero hay algunos factores que se deben tomar primero en cuenta como por ejemplo el análisis de la oferta y la demanda de alimentos, además el potencial de las tierras de reserva y de las tierras marginales, dado que actualmente se desperdician en los países desarrollados grandes cantidades de aceite vegetal (desde el inicio de su producción hasta el aceite de cocina después de usado); pero el verdadero factor de la causa de este debate es la creciente

integración económica, que provoca que los ricos se hagan más ricos y los pobres más pobres creando una idea de que no se puede alimentar a la población mundial.

Las injusticias sociales causan pobreza y la pobreza causa hambre; y la gente pasa hambre porque es víctima de un sistema económico injusto, no se debe a la escasez ni a la superpoblación. Actualmente existe en el mundo una excedencia de comida por parte de los países industrializados y en algunos países en desarrollo, habiendo más comida per cápita de lo que jamás hubo, y es que el crecimiento económico está planificado de forma que beneficie mas a los ricos que a los pobres como lo demostró una estadística de las Naciones Unidas.

Otro factor a considerar en el debate es que las tierras utilizadas para cultivar maíz, soja, girasol, colza, etc, son utilizadas en su mayoría para alimentar al ganado y no para el consumo humano, pero además podrían ser destinadas para combustible de automóviles, dado que al extraer el aceite vegetal, el residuo es rico en proteínas, alimentando igualmente al ganado. En los países pobres este factor puede ser muy beneficioso puesto que puede acabar con la dependencia y el gasto en combustibles importados y mejorando el campo agrícola, utilizando el mismo aceite vegetal como combustible para sus tractores y generando puestos de trabajo y al mismo tiempo reduciendo el impacto ambiental.

Los gobiernos de países pobres o en desarrollo se beneficiarían al adoptar políticas para incentivar el desarrollo de programas de energías renovables, resolviendo aspectos críticos de fuentes de energías primarias, dejando poco a poco su dependencia, generando nuevas plazas de trabajo y activando su economía.

2.2. DIFERENCIAS ENTRE BIODIESEL Y ACEITE VEGETAL

El biodiesel es un combustible renovable derivado de aceites vegetales y que ha sido modificado químicamente mediante una reacción con metanol, obteniendo un producto parecido al combustible diesel con glicerina como subproducto. Es de color amarillo oscuro, es biodegradable y tiene emisiones significativamente menores que el diesel.

Pero los primeros inconvenientes que se encuentran en el biodiesel comienzan desde su misma etapa de producción, a causa de los químicos utilizados para su obtención, hacen que el biodiesel sea más dañino que el aceite vegetal o el diesel, haciendo peligrar componentes frágiles del automóvil como el sistema de inyección o las juntas. Y por estos mismos químicos utilizados para su producción, hacen que el costo de su fabricación y su costo en el mercado se incremente, lo cual no ocurre en el caso del aceite vegetal puro.

Al triturarse las semillas de la canola o colza y sin el uso de los químicos, se obtiene el aceite y una especie de pasta o residuo muy apreciado ya que sirve para alimentar al ganado al aportar un 34% de proteínas y un 15% de fibra cruda¹⁷. Además las propiedades biodegradables del aceite de canola lo hace ideal para que pueda ser utilizado como base de pinturas, lubricantes, herbicidas, envases alimentarios, etc.

Ya en la etapa de desempeño, el nivel energético proporcionado por el biodiesel, a diferencia del diesel y el aceite vegetal, se encuentra en un valor más pequeño, lo que se traduce en un aumento del consumo de combustible de entre el 5 y el 8%. En caso de usarse en motores diesel sin modificar, las bajas temperaturas pueden provocar que el biodiesel se solidifique y que ocasione obstrucciones en los conductos.

¹⁷ Widmann, B. Investigation of plants in practice to optimize the process. Universidad de Munich, Centro de Ingeniería Agrícola.

Por lo tanto se puede observar que a pesar de las ventajas que puede presentar el biodiesel en sus aspectos medio ambientales, al presentar emisiones iguales o menores en los gases contaminantes, sus costos de fabricación y de venta al público, hacen que el biodiesel presente grandes problemas al verlo en un entorno macroeconómico, sin acogida por parte del consumidor por su alto precio solo se obtiene un desperdicio de recursos y dinero.

Además el daño que puede ocasionar al sistema de inyección, y el aumento de consumo en el combustible, lo hace más cuestionable al momento de cambiar de diesel a biodiesel; y en el Ecuador, un factor muy importante que consideran todos los propietarios de automóviles y que no lo adoptarían de ninguna manera ya que les perjudicaría económicamente.

2.3. COMPONENTES A IMPLEMENTAR EN EL MOTOR

En el motor del vehículo Daihatsu Rocky se remplazaran ciertos componentes necesarios para su óptimo funcionamiento con aceite vegetal. Los mismos han sido provistos por la compañía ELSBETT Tecnología GmbH de Alemania, diseñados especialmente para este tipo de motor. Los mismos serán descritos a continuación y el funcionamiento que desempeñaran dentro del motor a modificarse.

2.3.1. Bujías de precalentamiento

Las bujías de precalentamiento o también conocidas como bujías incandescentes son las encargadas de facilitar el arranque en frío del motor y también son las responsables de disminuir el nivel de emisiones de gases contaminantes.

Este tipo de bujías son accionadas por el mando del switch del encendido y producen un punto de incandescencia dentro de la cámara de combustión del motor, aumentando la

temperatura de la misma, y al entrar en contacto con el combustible inyectado se produce la inflamación del diesel y poniendo de esta manera en marcha el motor.

Segundos después del arranque, la corriente eléctrica de la bujía es retirada al ya no ser necesaria su función debido a que la cámara de combustión a llegado a su temperatura optima de funcionamiento. En el vehículo actual en el que se están realizando los estudios, las bujías de precalentamiento utilizadas para el ciclo de trabajo con combustible diesel, poseen una tensión nominal de 10,5V, y las bujías por las que serán reemplazadas para trabajar con aceite vegetal tienen una tensión nominal de 11V.

El modelo de bujías a utilizarse es: Bosch Japan 0 250 202 095 11V790

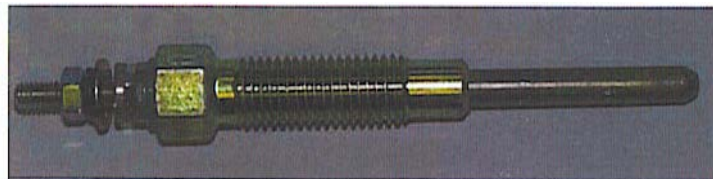


Imagen 2.1. Bujía de precalentamiento¹⁸

2.3.2. Toberas de inyección

Tal vez es la pieza más importante a implementar para el óptimo funcionamiento del motor con aceite vegetal; las toberas de inyección serán reemplazadas por unas especialmente diseñadas para este tipo de trabajo. Las toberas de inyección se encuentran localizadas en el interior del cuerpo de los inyectores y alojan a la aguja del inyector. El combustible ingresa por un pequeño conducto en el interior de la tobera y la elevada presión actúa sobre la aguja,

¹⁸ Bujía de precalentamiento, imagen tomada por Jorge Acosta

levantándola sobre su asiento e inyectando el combustible directamente en la cámara de combustión.

Tanto la tobera como la aguja, son componentes muy delicados y que deben ser manejados con mucho cuidado, cualquier ralladura puede ser perjudicial, por lo que se recomienda trabajar en un ambiente completamente limpio, libre de polvo.

La presión de apertura del inyector con estas nuevas toberas aumenta considerablemente a 180 kgf/cm^2 , lo que viene recomendado por el fabricante del motor (Anexo 2) con las toberas originales del vehículo es de 110 kgf/cm^2 , pero solo con esta presión elevada se puede conseguir una buena pulverización del aceite vegetal, teniendo en cuenta que la presión de los cuatro inyectores debe ser igual en cada uno de ellos o con una tolerancia máxima no mayor a $\pm 5 \text{ kgf/cm}^2$.

El modelo de toberas y agujas a implementarse es: ELSBETT 050602XXX



Imagen 2.2. Tobera de inyección¹⁹

2.3.3. Intercambiador de calor de combustible

¹⁹ Tobera de Inyección, imagen tomada por Jorge Acosta

El intercambiador de calor de combustible juega un papel muy importante en la conversión del motor diesel para que trabaje con aceite vegetal, dado a que el intercambiador de calor nos permite mantener el aceite vegetal a una temperatura óptima de funcionamiento y que será enviado posteriormente a la bomba de inyección. Este calentamiento del aceite se lo hace para bajar su viscosidad y que pueda fluir con mayor facilidad sin peligro a que tape cañerías o los inyectores, y así sea más fácil su pulverización al momento de ingresar a la cámara de combustión del motor.

El intercambiador de calor a utilizarse trabaja conjuntamente con el switch de temperatura a instalarse, y que lo veremos más adelante; posee 2 circuitos internos, 1 circuito es para el ingreso y la salida del aceite vegetal y el otro circuito es para la entrada y salida del agua y va conectado en paralelo con el sistema de refrigeración del vehículo; estos 2 circuitos internos producen una transferencia de temperatura, el agua ya a una temperatura alta calienta el aceite vegetal y así mismo la baja temperatura del aceite vegetal es transferido al agua y ayudando al sistema de refrigeración del motor.

El intercambiador de calor presenta las siguientes características de funcionamiento:

Tabla 2.3. Características del intercambiador de calor²⁰

CARACTERISTICAS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	
Temperatura de ingreso de agua (caliente):	70 °C
Temperatura de salida de agua (caliente):	50 °C
Temperatura de ingreso de aceite vegetal (frío):	16 °C
Temperatura de salida de aceite vegetal (frío):	45 °C
Coeficiente global de transferencia de calor (U):	300(W/m ² *K)
Diámetro de tubo interior (D):	0,0058 m.
Área del intercambiador de calor (A):	5,6169 x 10 ⁻³

²⁰ Elaborado por: Jorge Acosta, Fuente: Fundamentos de Transferencia de Calor de Frank P. Incropera

Al ser un intercambiador de calor de flujo cruzado con la siguiente fórmula se puede calcular la temperatura media logarítmica:

$\Delta T_{ml} = (\Delta T_{h.ent} - \Delta T_{c.sal}) / \ln(\Delta T_{h.sal} / \Delta T_{c.ent})$; lo que nos da como resultado 67,39 °C; con este valor se puede calcular la potencia térmica con la que trabaja el intercambiador de calor con la fórmula: $q = U * A * \Delta T_{ml}$; lo que arroja un resultado de 113,554 W. Resultado que es útil para calcular la longitud de tubo con la que está trabajando el intercambiador de calor con la siguiente fórmula: $L = q / [(\pi * D) * U * \Delta T_{ml}]$; reemplazando: $L = 113,554 \text{ W} / [(\pi * 0,0058 \text{ m.}) * 300(\text{W/m}^2\text{*K}) * 67,39 \text{ °C}]$; dando como resultado 0,308 metros de tubo utilizado para el intercambiador de calor con aceite vegetal.

El modelo del intercambiador de calor de combustible a instalar es: ELSBETT KSVW-01

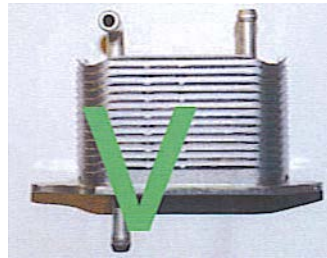


Imagen 2.3. Intercambiador de calor de combustible²¹

2.3.4. Switch de temperatura

El switch de temperatura permite controlar el cierre o la apertura del paso del flujo agua para que el resto de piezas del motor funcionen a una temperatura que permite a los componentes un rendimiento asegurado. En nuestro caso el switch de temperatura ira ubicado en la manguera de agua entre una pieza T y la entrada de agua (caliente) del intercambiador de calor de combustible, previamente instalado, ayudándolo a trabajar óptimamente .

²¹ Intercambiador de calor, imagen tomada de ELSBETT Tecnología GmbH

Para el buen funcionamiento del switch de temperatura, la temperatura mínima a alcanzar es de 70°C.



Imagen 2.4. Switch de temperatura²²

2.3.5. Calentador eléctrico para el filtro de combustible

El calentador eléctrico para el filtro de combustible es necesario para calentar rápidamente el combustible que se encuentra dentro del filtro en el momento que se pone en marcha el motor. Por su constitución metálica, la corriente eléctrica del motor se le será suministrada, calentando de esta manera el filtro y por consecuencia el combustible en su interior. Es por esta razón que ira acoplado al filtro adicional de combustible para obtener un buen desempeño. Al momento de la instalación se debe procurar que el calentador eléctrico no tope ninguna línea de combustible, cables, mangueras de goma o algún material sensible al calor.

El modelo del calentador eléctrico para el filtro de combustible es: ELSBETT 90314

²² Switch de temperatura, imagen tomada por Jorge Acosta



Imagen 2.5. Calentador eléctrico para el filtro de combustible²³

2.3.6. Filtro adicional de combustible

Un filtro adicional de combustible será instalado para el óptimo funcionamiento del motor con aceite vegetal, el mismo que deberá ir colocado en serie con el filtro original del vehículo. El filtro de combustible es el encargado de evitar que las partículas contaminantes que se pueden encontrar en el combustible, pasen a componentes como la bomba de inyección o los inyectores y puedan causar serios problemas; además tiene la función de separar el agua del combustible para prevenir la corrosión y el desgaste prematuro del motor.

Este filtro adicional se convertirá en el filtro principal del vehículo ya que nos servirá como la base en donde ira acoplado el calentador eléctrico del filtro de combustible y es por esta razón que el filtro es de constitución metálica, igualmente que el calentador eléctrico, por lo que la transmisión de calor es eficiente.

²³ Calentador eléctrico para el filtro de combustible, imagen tomada de ELSBETT Tecnología GmbH



Imagen 2.6. Filtro adicional de combustible²⁴

2.3.7. Bomba manual de combustible

Esta bomba manual de combustible nos ayudara para purgar el sistema de combustible, llenándolo de aceite vegetal y libre de aire en el sistema. Para trabajos ocasionales se lo puede instalar entre el intercambiador de calor de combustible y el filtro adicional de combustible; y en caso de que se quiera adaptar la bomba manual permanentemente, la misma ira instalada antes del intercambiador de calor de combustible, en la línea de alimentación que viene directamente del tanque.

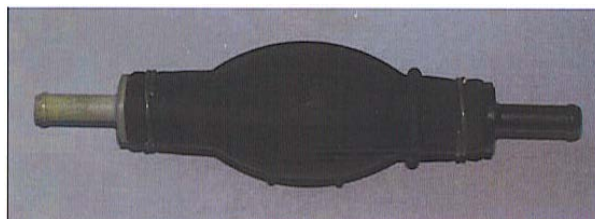


Imagen 2.7. Bomba manual de combustible²⁵

2.3.8. Sistema eléctrico

²⁴ Filtro adicional de combustible, imagen tomada por Jorge Acosta

²⁵ Bomba manual de combustible, imagen tomada por Jorge Acosta

El sistema eléctrico que se implementara en el vehículo será para comandar en el momento del encendido del motor, a las bujías de precalentamiento y al calentador eléctrico para el filtro adicional de combustible. El sistema eléctrico lo constituye principalmente 2 relés, uno normal de 4 conectores y otro de 7 conectores, el mismo que actuara como relé principal, controlara la activación de las bujías de precalentamiento y proveerá de corriente al otro relé para activar el calentador eléctrico para el filtro de combustible, como lo veremos a continuación en el esquema eléctrico:

Imagen 2.8. Diagrama para el sistema eléctrico²⁶

²⁶ Elaborado por Jorge Acosta

CAPITULO 3

IMPLEMENTACIÓN DE LOS COMPONENTES AL MOTOR

3.1. INFORME EXPLICATIVO DE LA INSTALACION DE LOS COMPONENTES AL MOTOR.

A continuación se detalla el trabajo de la primera parte con el motor trabajando con combustible diesel:

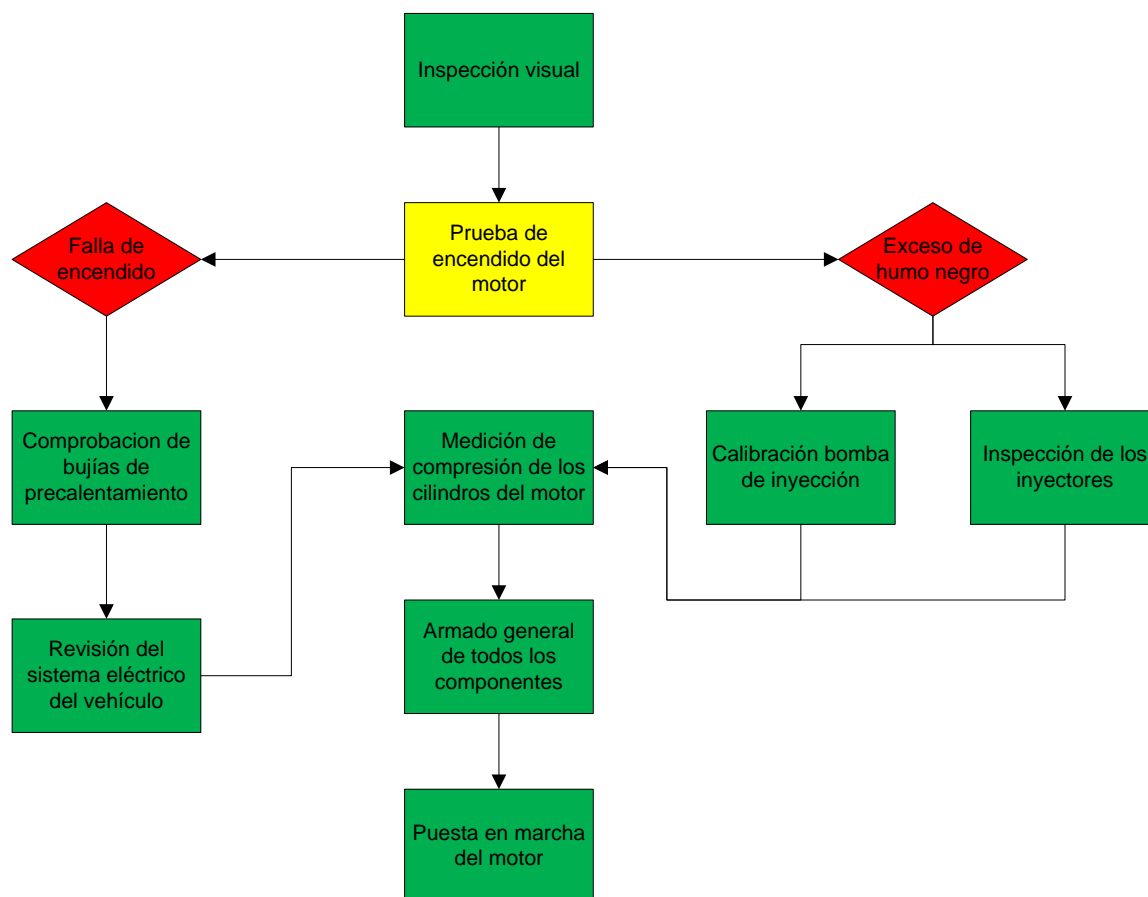


Gráfico 3.1. Diagrama de procesos con el motor a diesel²⁷

Se comenzó por realizar una inspección visual del motor para constatar el estado en el cual se encontraba. A pesar de que el vehículo es del año 1985, la condición del motor es regular, sin presentar daños graves aparentes, ni fugas de líquidos como aceite, agua o combustible y la mayoría de los componentes que constituyen el motor siguen siendo los originales.

Luego se procedió con la prueba de encendido del motor y se constató que presenta una falla al momento de arrancar el motor. Toma demasiado tiempo para que arranque el motor, encendiéndose con dificultad y una vez encendido el motor se pudo observar en el sistema de escape que produce humo negro en exceso, el cual no se eliminaba ni disminuía cuando se conducía el vehículo, era constante e independiente de la marcha en la que se encontraba

²⁷ Elaborado por Jorge Acosta

el automóvil, notándose también una disminución en la potencia normal que debería tener el motor.

Al encontrarse estas fallas en el vehículo, se procedió a realizar la primera comprobación de funcionamiento a las bujías de precalentamiento para conocer si estas trabajan adecuadamente. Se desmonto las bujías del cabezote del motor, observando que todas las bujías presentaban exceso de carbonilla por lo que se entiende que no está existiendo una buena combustión dentro del motor y además se encontró que una de las cuatro bujías estaba rota.

Para asegurarse completamente si las bujías funcionaban adecuadamente se conecto un cable a su parte superior y con el otro extremo del cable conectado al positivo de la batería de 12V, y otro cable conectado a la parte inferior de la bujía haciendo contacto el cable con el borne negativo de la batería para cerrar el circuito, de esta manera una bujía en buenas condiciones debería alcanzar su máxima temperatura en menos de un minuto pero al realizar la prueba a todas las bujías, se constato que solo una de las cuatro bujías estaba funcionando apropiadamente, determinando de esta forma que esta es la razón por la que falla el vehículo al momento de encender el motor.

Posteriormente, se pasó a chequear el sistema eléctrico del vehículo, se revisó que todos los sistemas relacionados trabajen con normalidad, revisando el estado de los cables y de las conexiones, y así mismo que no existan caídas de tensión que puedan ocasionar fallas en los sistemas, evidenciando que todo está en un buen estado y trabajando normalmente.

Por el otro lado, para determinar la falla que presenta el motor de exceso de humo negro, la misma se puede deber a un mal funcionamiento o de la bomba de inyección o de los inyectores por lo que se procedió a desmontar del motor este sistema. Al momento de su

desarmado se tomo en cuenta la posición de la bomba para no cambiar su avance de la inyección del combustible y se colocó una señal para que al momento del montaje vuelva a quedar en la posición correcta y no tener fallos posteriores. De igual manera a los inyectores se les colocó una señal para identificar que inyector corresponde a cada cilindro del motor.

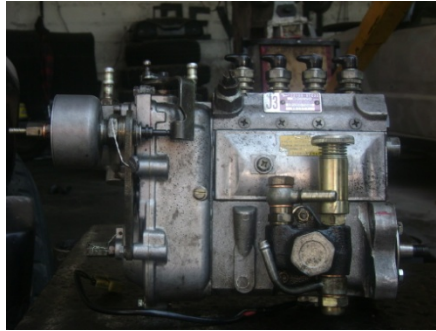


Imagen 3.1. Bomba de inyección desmontada²⁸

Al desmontar los inyectores, se chequeo la presión de apertura de todos los inyectores, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.1. Presión de apertura de los inyectores del motor²⁹

Presión de apertura de los inyectores en kgf/cm²			
1° Inyector	2° Inyector	3° Inyector	4° Inyector
110	120	130	130

La presión de apertura de los inyectores que establece el fabricante del vehículo es de 110 kgf/cm² con una tolerancia máxima de +/- 10 kgf/cm². Podemos ver entonces que dos de los cuatro inyectores están dentro de los parámetros establecidos por el fabricante, sin embargo los otros dos inyectores presentan una sobrepresión por lo que se procedió a desarmar a los inyectores y verificar el estado en el que se encuentran las piezas internas. En general las piezas se encuentran en un buen estado, las toberas y las agujas no presentan

²⁸ Bomba de inyección, imagen tomada por Jorge Acosta

²⁹ Elaborado por: Jorge Acosta, Fuente: Guía del fabricante del motor Daihatsu

ralladuras, sin embargo en los inyectores que presentaban la sobrepresión, se encontró rodela de compensación, las mismas que sirven para aumentar la presión de apertura del inyector, las mismas que fueron removidas para obtener la presión correcta de funcionamiento.



Imagen 3.2. Inyector desarmado³⁰

En cuanto a la bomba de inyección, por disposición del propietario del vehículo, la bomba de inyección se la envió para su inspección en la compañía ADECO, en donde se le realizó una calibración en el banco de pruebas y se le cambio el diafragma el cual se encontró roto; siendo esta la causa por la que el vehículo presentaba la falla de humo negro en el sistema de escape.

Finalmente se procedió a la medición de compresión de los cilindros del motor para descartar problemas como baja potencia, consumo excesivo de aceite, mal arranque en frio, etc., y para esto se conecto la manguera con su adaptación del compresímetro al orificio de donde fue removida la bujía y seguidamente se da arranque al motor hasta obtener una lectura estable y así en cada uno de los cilindros del motor, obteniendo los siguientes datos:

Tabla 3.2. Compresión de los cilindros del motor³¹

Medición de compresión de los cilindros de motor

³⁰ Imagen tomada por: Jorge Acosta

³¹ Elaborado por: Jorge Acosta, Fuente: Guía del fabricante del motor Daihatsu

1° Cilindro	2° Cilindro	3° Cilindro	4° Cilindro
2100 kPa	2200 kPa	2200 kPa	2000 kPa

Según las especificaciones del fabricante del vehículo, la medida de la presión de compresión es de 2158 kPa, con una variación aceptable entre cilindros de 196 kPa. Las medidas que se tomo van de acuerdo a las descritas por el fabricante por lo cual que se puede concluir que las partes mecánicas como válvulas, pistones y rines se encuentran en buen estado y están proporcionando un buen sellado a la cámara de combustión del motor.

Una vez que se inspeccionó, se desarmó y se diagnosticó cada uno de los elementos para corregir las fallas que presentaba el vehículo, se procedió por último al montaje nuevamente de las piezas. Se comenzó por volver a instalar la bomba de inyección, con la señal previamente puesta, se colocó a la bomba en la posición correcta. Seguidamente, se volvió a armar a cada uno de los inyectores y se los colocó en el block del motor en su orden correspondiente.

Con la bomba de alimentación que viene incorporada en la bomba de inyección, se procedió a bombear y llenar el sistema de combustible, eliminando de esta manera el aire que se puede encontrar en las mangueras o en la bomba de inyección, aire que puede presentar problemas al momento del encendido del motor.

Se volvió a colocar en su lugar correspondiente las bujías de precalentamiento, para esto se compró un nuevo juego de bujías que vayan de acuerdo a las características recomendadas por el fabricante; también se compraron nuevos filtros de combustible y de aire para un mejor desempeño del vehículo.

Ya con el armado completo de todas las piezas en el motor, se procedió a realizar diferentes pruebas al motor para constatar que las fallas que presentaba se hayan corregido

correctamente. La primera prueba consistió en el tiempo que demora en encenderse el vehículo; se puso la llave de encendido en posición de ignición para calentar las bujías de precalentamiento; ya con las nuevas bujías no se esperó más de treinta segundos para dar arranque al motor y el mismo se encendió de inmediato sin presentar ningún inconveniente.

Con el motor puesto en marcha se procedió a realizar pruebas de manejo para verificar la potencia del motor y su desempeño tanto en aceleración como en fuerza. Se constató que el vehículo no ha perdido potencia y ya no emana la gran cantidad de humo negro como lo hacía anteriormente. Ahora que el motor se encuentra en muy buenas condiciones de funcionamiento, se le realizó las pruebas para el análisis de gases que emite el motor con combustible diesel y que se estudiarán a profundidad en los siguientes capítulos.

Para continuar con el estudio, al motor se le realizó unas adaptaciones para que trabaje con total normalidad con aceite vegetal como combustible y es así como se detalla a continuación el trabajo que se realizó:

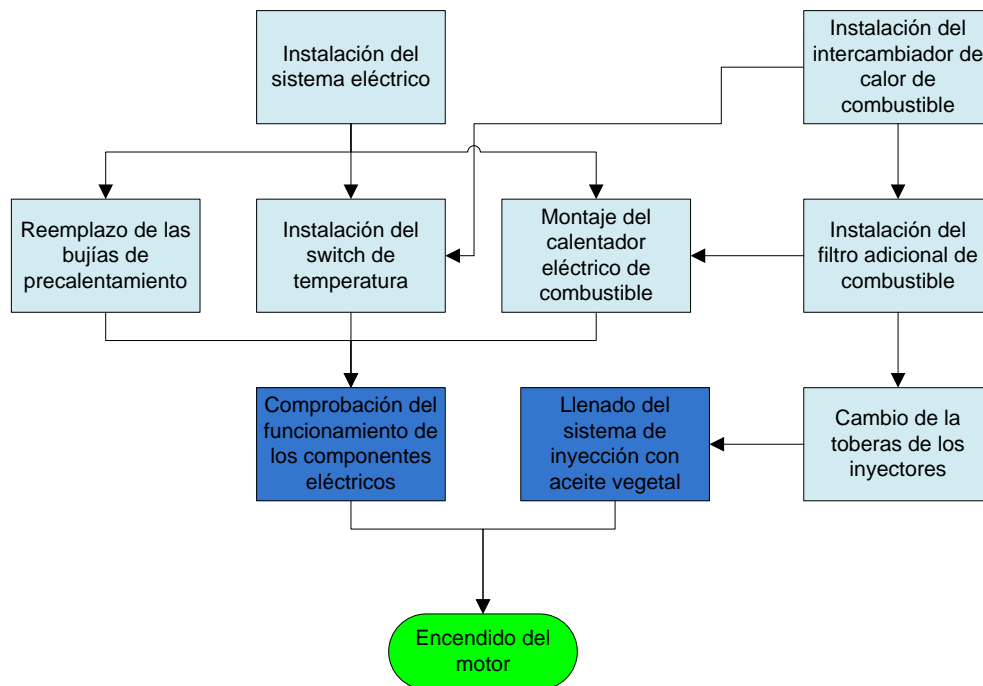


Gráfico 3.2. Diagrama de procesos con el motor a aceite vegetal³²

Primeramente cabe señalar el trabajo a realizar estará dividido en dos partes: el trabajo para la parte eléctrica y el trabajo para el sistema de inyección de combustible. Para la parte del sistema de inyección de combustible por donde circulara el aceite vegetal, se procedió a cambiar las toberas de los inyectores, por lo que fue necesario desmontar los inyectores para desarmarlos y proceder al cambio de las toberas. Las toberas de inyección es uno de los componentes más importantes a instalar, ya que se encargara de pulverizar de la mejor manera el aceite vegetal dentro de la cámara de combustión.

Para realizar este tipo de trabajo se tomo muy en cuenta la limpieza y la precisión, ya que tanto como la tobera como la aguja que va alojada dentro de la tobera, son componentes muy delicados y tan solo una partícula de polvo puede dañar seriamente a los elementos. Las nuevas toberas de inyección encajan sin ningún problema dentro del cuerpo del inyector y una vez armados todos los inyectores, se midió la presión de apertura a la que será inyectado el aceite vegetal, consiguiendo una óptima pulverización a 180 kgf/cm².

Posteriormente se instalo el intercambiador de calor de combustible, y para esto se tuvo que cambiar las conexiones de las mangueras de combustible y de agua debido a que con estos dos circuitos trabaja el intercambiador de calor de combustible. Para el circuito con aceite vegetal, la manguera que viene del tanque (ahora con aceite vegetal como combustible) entrará a la toma superior del intercambiador de calor, y la manguera de salida ira conectada a la toma de entrada del filtro de combustible original del motor.

Para el otro circuito del intercambiador de calor que trabaja con el agua del sistema de refrigeración del motor, se adapto una pieza en forma de T en la manguera de circulación

³² Elaborado por: Jorge Acosta

del agua que sale de la bomba de agua, y otra pieza T se adaptó a la manguera de agua que entra al block del motor; tomando de estas piezas T las conexiones para la entrada y salida que irán a las tomas restantes del intercambiador de calor de combustible.

Durante este proceso de adaptación, se instaló también el switch de temperatura, el cual va ubicado entre una de las piezas T y la entrada de agua (caliente) que va al intercambiador de calor de combustible, debido a que el switch de temperatura trabaja óptimamente cuando alcanza la temperatura de 70°C, abriendo el paso del agua y ayudando a trabajar correctamente al intercambiador de calor de combustible.

Como siguiente paso, se instaló el filtro adicional de combustible, el mismo que irá colocado entre la manguera de salida de la bomba de alimentación y la entrada a la bomba de inyección. Hay que tener en cuenta que la colocación del filtro adicional debe ser en un lugar donde no sufra golpes y sea de fácil acceso para su cambio o mantenimiento en el futuro.

En la parte del sistema eléctrico, primeramente se procedió a desconectar la batería como medida de seguridad; además cabe destacar como otra medida de seguridad que todas las terminales de los cables después de la conexión realizada, deben ir recubiertas con material aislante para prevenir cortos circuitos o caídas de tensión.

Con el diagrama eléctrico que se posee se procede a conectar los cables que salen del relé principal hacia: el switch de ignición, negativo de batería, positivo de batería y switch de temperatura. El otro relé trabaja en conjunto con el principal y controla directamente el calentador eléctrico para el filtro de combustible. El mando para el switch de temperatura será el 50 (arranque) del switch de encendido, mientras que las bujías son controladas por el switch de encendido (15) pero para esto se deshabilitó previamente el relé y los cables que

controlaban el sistema original de precalentamiento de las bujías, dejándolo sin funcionamiento.

Se instaló un calentador eléctrico de combustible, el mismo que ira acoplado al filtro adicional de combustible y por esta razón las mangueras de goma, cables eléctricos o líneas de combustible no deben tocar este elemento por la temperatura que se produce.

Las bujías de precalentamiento fueron reemplazadas, este cambio es necesario para obtener la temperatura óptima para el encendido del aceite vegetal al momento de arrancar el motor. La bujía de precalentamiento a instalarse es diferente a la original debido a que trabaja con una tensión nominal de 11 V.

Finalizado todas las adaptaciones mecánicas y eléctricas, para poder encender el vehículo se procede primeramente a llenar el sistema de inyección con el aceite vegetal como combustible y para esto se acoplo una bomba manual de combustible entre el tanque y el intercambiador de calor, ayudando a llenar todo el circuito para que el aire no cause ningún problema al momento de encender el motor. Posteriormente se conecta nuevamente la batería y se pone la llave en posición de ignición y con un multímetro se comprueba que esté llegando corriente a las bujías de precalentamiento y así mismo se comprueba que entre en funcionamiento el calentador eléctrico para el filtro de combustible.

Con todos estos sistemas operativos se procede a dar arranque al motor y el mismo enciende sin ningún inconveniente por lo que se realiza las siguientes pruebas para constatar que su funcionamiento no presente problemas. Primeramente se deja al motor por cinco minutos en ralentí para evidenciar que no existan ruidos extraños en el motor, que el mismo no se apague o que no haya irregularidades o saltos en el régimen. Posteriormente se realiza una prueba de manejo para somete el motor a marchas de velocidad y de esfuerzo para comprobar

que no exista una disminución de potencia con relación al diesel. En todas estas pruebas el motor da una respuesta positiva y funciona como si estuviera trabajando normalmente con combustible diesel, estando así listo el vehículo para la medición de los gases que son emitidos y su posterior análisis.

CAPITULO 4

ANALISIS COMPARATIVO DE LA EMANACION DE GASES CONTAMINANTES PRODUCIDOS POR EL MOTOR A COMBUSTIÓN DIESEL Y POR EL MOTOR DE ACEITE VEGETAL

4.1. ANALISIS DE GASES EMITIDOS POR EL MOTOR A COMBUSTION DIESEL.

Los gases que más importancia tienen y que se analizarán para el estudio serán los óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), monóxidos de carbono (CO), dióxidos de carbono (CO₂), oxígeno (O₂) y material particulado (PM); y para el respectivo análisis fue necesaria la ayuda de los equipos que proporciona la Corporación para el mejoramiento del aire (CORPAIRE), ubicados en su estación sur de Guamaní; equipos que

permiten medir la cantidad y el porcentaje de los gases de escape del motor en tiempo real mientras esta puesto en marcha el vehículo.

También hay que tener en cuenta que para el análisis de los gases, los mismos van en función del incremento de las revoluciones del motor segundo a segundo, un incremento aproximado de 10 revoluciones por cada segundo. Estos gases proporcionarán una visión clara de cómo se comporta el motor y las etapas en donde más emisiones contaminantes se producen cuando trabaja tanto con diesel o con aceite vegetal de canola como combustible.

Por cada gas se tomará solo 20 datos de referencia, con este número de datos es suficiente para representar en cada una de las curvas graficas el comportamiento que tiene cada gas cuando se opera el motor en tiempo real.

Además, se mostrara la tabla y las graficas de 20 datos adicionales que representan cuando el motor se encuentra con sobre revoluciones; los primeros 20 datos son cuando el motor inicia su marcha en ralentí como a continuación se presenta:

Tabla 4.1. Datos obtenidos de los gases analizados en la etapa de ralentí del motor a diesel³³

GASES ANALISADOS (ralentí)						
	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]	CO2[%]	O2[%]	PM[mg/m3]
1 seg.	224	19	0.571	11.25	4.80	16.859
2 seg.	232	24	0.507	11.39	4.30	17.302
3 seg.	245	24	0.444	11.46	4.05	16.747
4 seg.	255	23	0.409	11.48	4.00	16.747
5 seg.	262	22	0.479	11.48	4.00	15.386
6 seg.	269	22	0.589	11.46	3.95	14.956
7 seg.	269	22	0.495	11.51	3.95	15.365
8 seg.	270	23	0.454	11.64	3.70	14.629
9 seg.	272	24	0.487	11.86	3.45	14.629
10 seg.	274	24	0.534	12.04	3.20	13.516

³³ Elaborado por Jorge Acosta, Datos obtenidos por el equipo "Montana"

11 seg.	280	24	0.538	12.12	3.05	14.076
12 seg.	291	25	0.502	12.17	2.85	14.608
13 seg.	304	25	0.519	12.25	2.65	14.998
14 seg.	315	25	0.556	12.34	2.55	16.289
15 seg.	323	25	0.555	12.48	2.40	16.678
16 seg.	331	25	0.552	12.59	2.30	17.242
17 seg.	342	25	0.538	12.66	2.15	17.448
18 seg.	357	25	0.488	12.69	2.05	17.448
19 seg.	373	25	0.424	12.78	2.05	17.064
20 seg.	392	25	0.367	12.87	2.05	16.828

Tabla 4.2. Datos obtenidos de los gases analizados en la etapa de sobre revoluciones del motor a diesel³⁴

GASES ANALISADOS (altas revoluciones)						
	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]	CO2[%]	O2[%]	PM[mg/m3]
1 seg.	450	10	0.091	7.27	10.60	7.460
2 seg.	454	10	0.090	7.28	10.50	7.257
3 seg.	459	10	0.090	7.29	10.45	6.645
4 seg.	464	10	0.090	7.32	10.35	6.306
5 seg.	474	10	0.090	7.37	10.20	6.213
6 seg.	490	10	0.091	7.62	9.90	6.213
7 seg.	516	10	0.095	8.48	9.45	6.426
8 seg.	544	12	0.128	9.71	8.60	7.693
9 seg.	561	15	0.191	10.45	7.50	8.973
10 seg.	563	23	0.183	10.99	6.30	9.737
11 seg.	555	26	0.180	11.19	5.40	10.046
12 seg.	547	33	0.178	11.30	4.80	10.046
13 seg.	545	34	0.178	11.39	4.45	9.972
14 seg.	542	33	0.177	11.45	4.25	9.956
15 seg.	538	30	0.176	11.54	4.05	9.759
16 seg.	534	30	0.175	11.63	3.95	9.866
17 seg.	533	30	0.175	11.69	3.90	9.866
18 seg.	531	30	0.174	11.73	3.80	9.574

³⁴ Elaborado por Jorge Acosta, Datos obtenidos por el equipo "Montana"

19 seg.	522	29	0.172	11.78	3.70	9.346
20 seg.	501	28	0.169	11.86	3.55	9.307

4.1.1. Óxidos de Nitrógeno

El primer gas a analizar son los óxidos de nitrógenos, en la primera gráfica con los datos con el motor en ralentí se puede observar como tiende a incrementarse los niveles con el paso del tiempo, o lo que quiere decir que mientras se va aumentando de revoluciones del motor las concentraciones del NO_x se incrementan notablemente.

También se debe considerar que este incremento se debe mayormente por la temperatura que existe en la cámara de combustión; mientras mayor sea la temperatura, mas alta es la concentración de los NO_x y es por esta razón que en los motores diesel este gas es uno de los que más se presenta dado que trabajan con una gran temperatura.

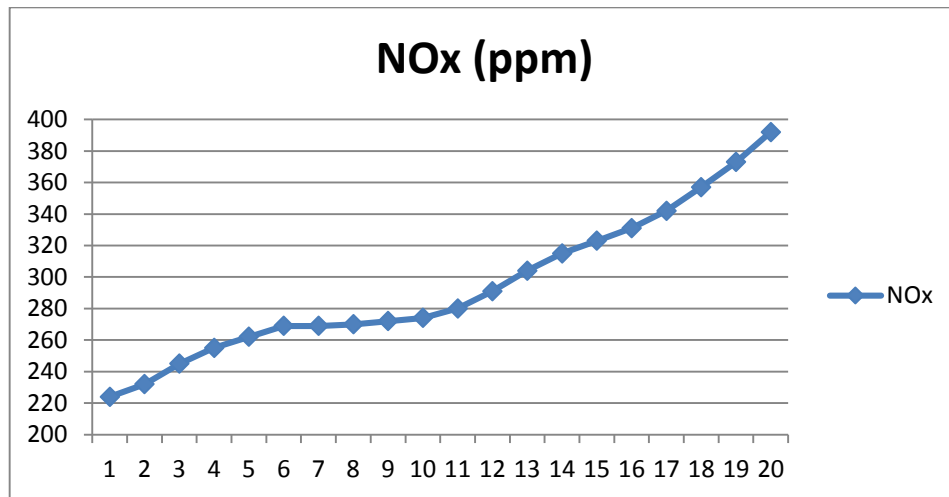


Gráfico 4.1. Nivel de los óxidos de nitrógeno en la etapa de ralentí del motor³⁵

³⁵ Elaborado por: Jorge Acosta

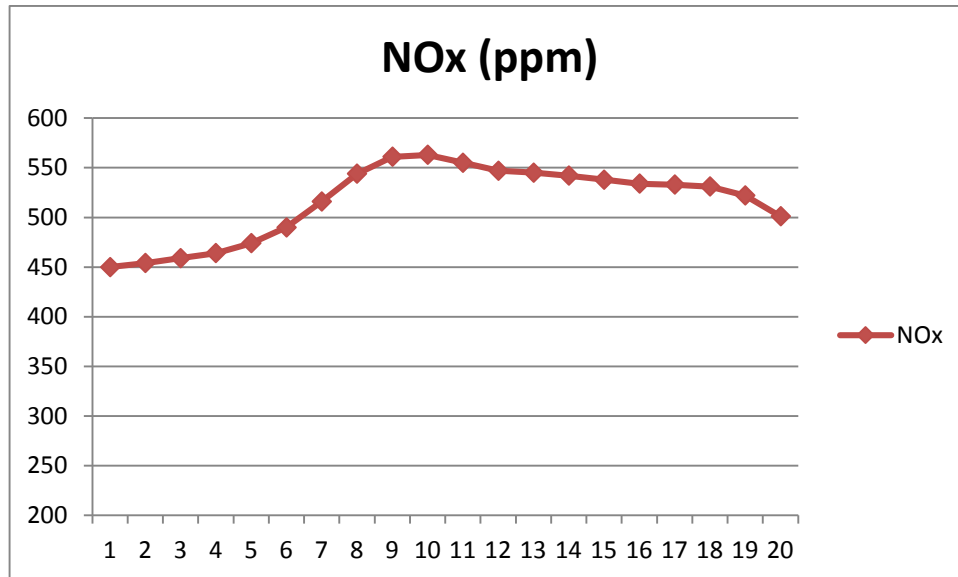


Gráfico 4.2. Nivel de los óxidos de nitrógeno en la etapa de altas revoluciones del motor³⁶

En la segunda gráfica que se refiere a cuando el motor se encuentra en altas revoluciones, la curva inicia en niveles en donde la curva de ralentí terminó, por lo que podemos concluir que en un régimen estable del motor los niveles de NO_x se mantienen pero mientras se aumentan más las revoluciones la curva tiende a subir hasta un punto máximo y después comienza a decaer sin haber disminuido las revoluciones.

Debido a que la combustión del diesel resulta ser una mezcla pobre, las emisiones de NO_x resultan ser superiores a lo normal, sobre todo en el régimen de altas revoluciones del motor pero sin llegar a superar niveles críticos o de toxicidad para el ser humano ya que de lo contrario se podría notar un olor fuerte desagradable en el entorno.

4.1.2. Monóxido de Carbono

El segundo gas a considerar en el proyecto es el monóxido de carbono (CO), según los datos tomados, tanto como en el régimen de ralentí como en el régimen de altas revoluciones del

³⁶ Elaborado por: Jorge Acosta

motor, las concentraciones de este gas son mínimas, no sobrepasan ni el 1% de concentración y esto se debe a la mezcla pobre que se produce en el momento de la combustión del diesel. Además el porcentaje tan bajo de CO se debe a que el combustible que se está empleando es diesel; la gasolina por lo general suele presentar porcentajes más elevados por su composición.

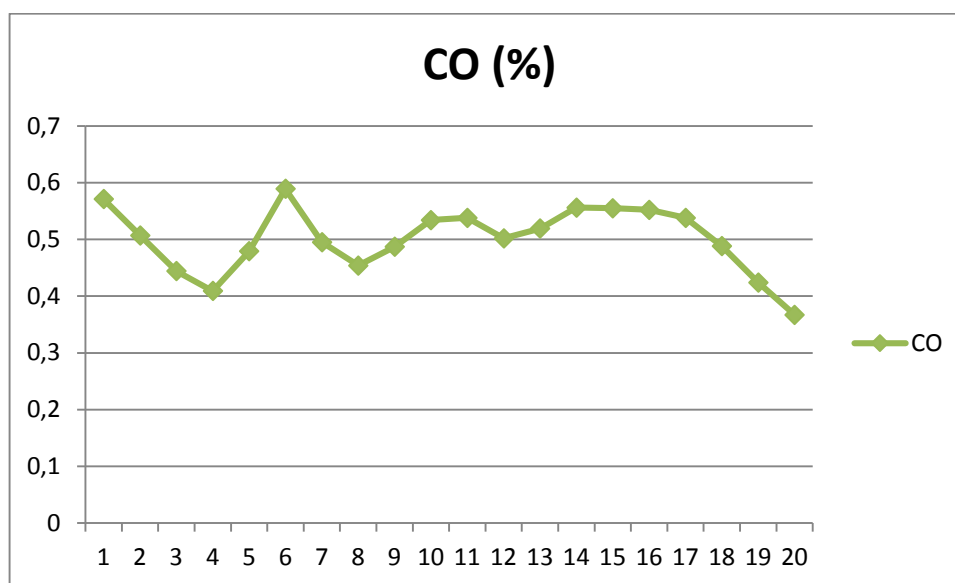


Gráfico 4.3. Nivel de los monóxidos de carbono en la etapa de ralentí del motor³⁷

³⁷ Elaborado por: Jorge Acosta

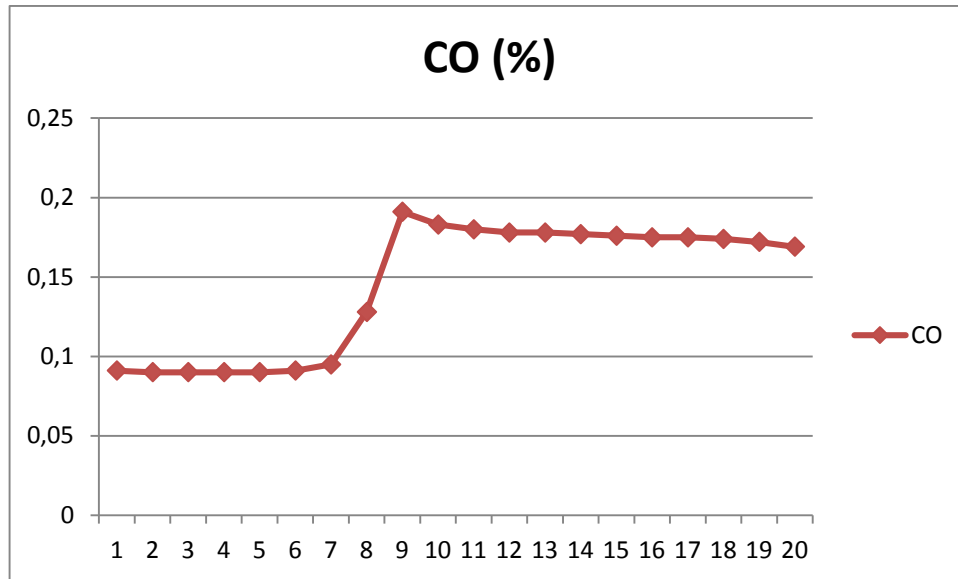


Gráfico 4.4. Nivel de los monóxidos de carbono en la etapa de altas revoluciones del motor³⁸

Se puede observar también que las más altas concentraciones se producen al momento que empieza la marcha del motor pero tiende a bajar con el incremento de las revoluciones; incluso en altas revoluciones se mantiene casi estable, presentándose un solo pico de aumento y en niveles significativamente menores a comparación del régimen en ralentí.

Hay que tener en consideración que la exposición prolongada a este gas en concentraciones elevadas puede causar graves daños a la salud e incluso la muerte, es por eso que las pruebas de estos gases se los realiza en una área abierta y ventilada.

4.1.3. Hidrocarburos no quemados

Los hidrocarburos no quemados resultan de la combustión incompleta del motor y en nuestro caso no es la excepción, sin embargo la concentración de este gas no es excesiva dado que los HC son los causantes de la formación de hollín y del humo negro que emiten los motores,

³⁸ Elaborado por: Jorge Acosta

factor que se toma muy en cuenta para la aprobación del vehículo para que pueda circular por el distrito metropolitano.

Se puede apreciar en la primera grafica que cuando es puesto en marcha el motor, el nivel de los hidrocarburos es bajo (19 ppm) pero aumenta repentinamente cuando se incrementan las revoluciones hasta llegar a un punto que se estabiliza con valores constantes de 25 ppm, llegando a ser este valor el máximo registrado en la prueba.

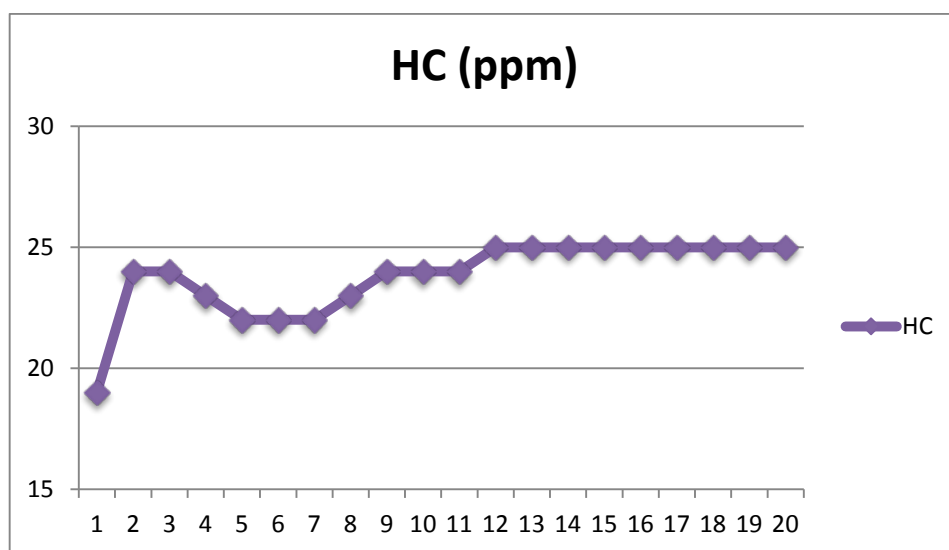


Gráfico 4.5. Nivel de los hidrocarburos no quemados en la etapa de ralentí del motor³⁹

³⁹ Elaborado por: Jorge Acosta

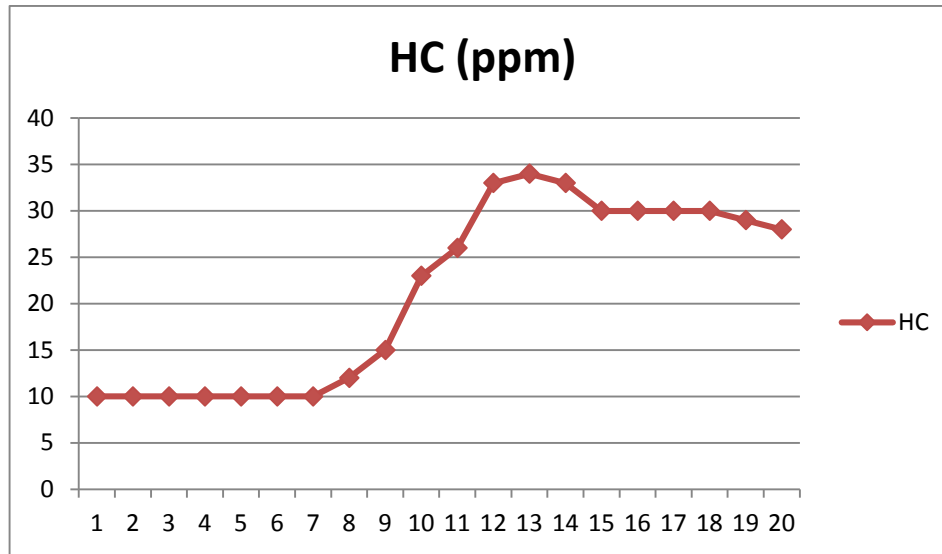


Gráfico 4.6. Nivel de los hidrocarburos no quemados en la etapa altas revoluciones del motor⁴⁰

En el segundo grafico la concentración de los HC empieza estable y comienza a incrementarse notablemente llegando a superar incluso los niveles que teníamos en la grafica de ralentí pero llegan hasta un punto donde nuevamente comienza a decaer independiente de las revoluciones que se encuentra. Durante la medición de este gas se puede observar que mientras más esfuerzo realiza el motor, la emisión del gas se torna oscura, produciendo el característico smog pero aun así no llega a superar el límite que establece la regulación vehicular.

4.1.4. Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono es uno de los gases que más importancia se le debe dar por el lado ambiental a pesar que en un motor diesel las concentraciones de CO₂ son más bajas que un motor a gasolina; y es este gas el causante principal del efecto invernadero de nuestro planeta y del actual calentamiento global que se está experimentando.

⁴⁰ Elaborado por: Jorge Acosta

En los datos obtenidos del motor diesel se puede observar que el nivel máximo de concentraciones alcanzado durante toda la prueba de CO₂ es casi del 13% al final de la grafica del régimen de ralentí del motor, teniendo un crecimiento progresivo de la concentración del gas a medida que aumentan las revoluciones.

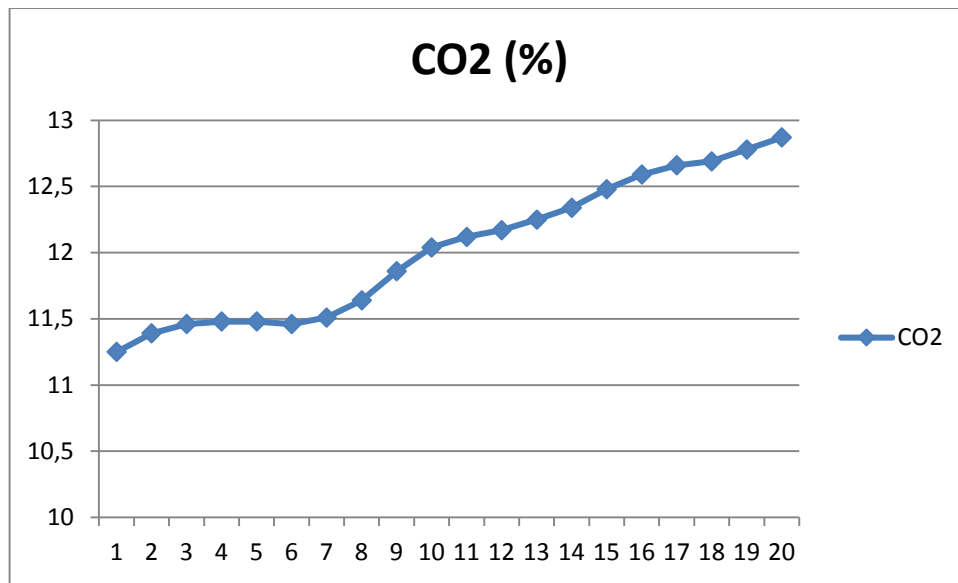
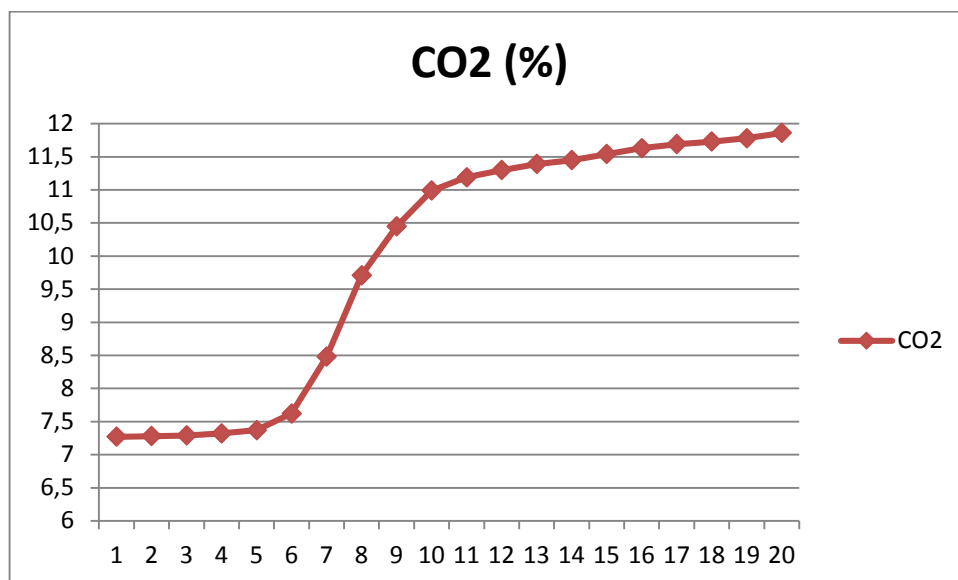


Gráfico 4.7. Nivel de los dióxidos de carbono en la etapa de ralentí del motor⁴¹



⁴¹ Elaborado por: Jorge Acosta

Gráfico 4.8. Nivel de los dióxidos de carbono en la etapa de altas revoluciones del motor⁴²

En la gráfica con altas revoluciones del motor se presenta la misma tendencia que en la grafica anterior, sin embargo aquí la grafica nos muestra que en las revoluciones medias del motor las concentraciones se mantienen estables pero después se incrementan en gran medida a causa del esfuerzo del motor, y además podemos apreciar que aun así los niveles de CO₂ son menores a los que tenemos en ralentí siendo este régimen el más contaminante.

4.1.5. Oxigeno

Otro gas que se tomara en consideración a pesar de no tener las características contaminantes o toxicas de los anteriores gases es el oxigeno. Gas fundamental para la combustión del motor y que también tiene presencia entre los gases de escape y es así como los datos representados en la grafica nos muestran que el comportamiento de las concentraciones del O₂ tienden a decrecer a medida que se aumentan las revoluciones del motor. En el régimen de ralentí el porcentaje de concentración es bajo dado que a causa de la relación estequiometrica de aire/combustible no se necesita de un gran porcentaje de O₂ para su buen desempeño.

⁴² Elaborado por: Jorge Acosta

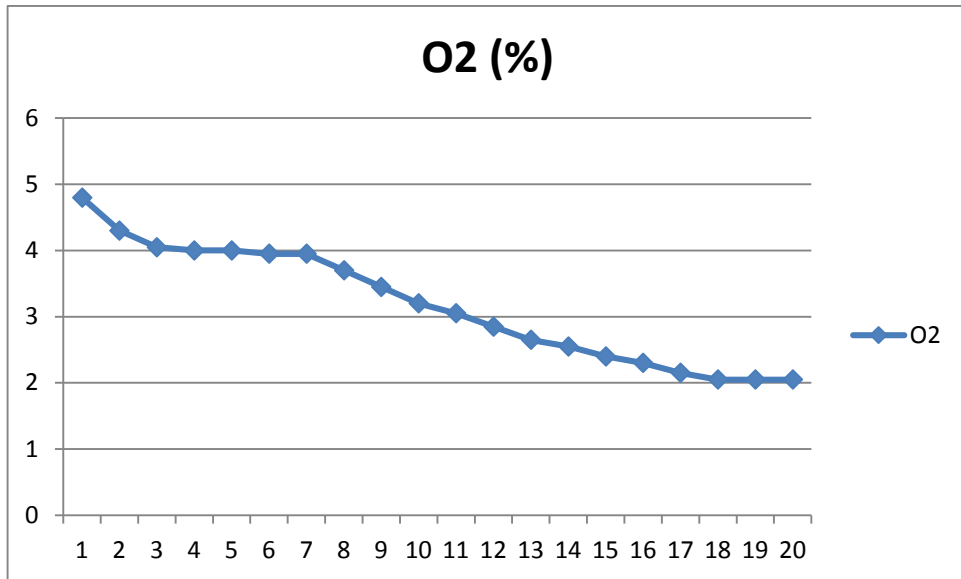


Gráfico 4.9. Nivel del oxígeno en la etapa de ralentí del motor⁴³

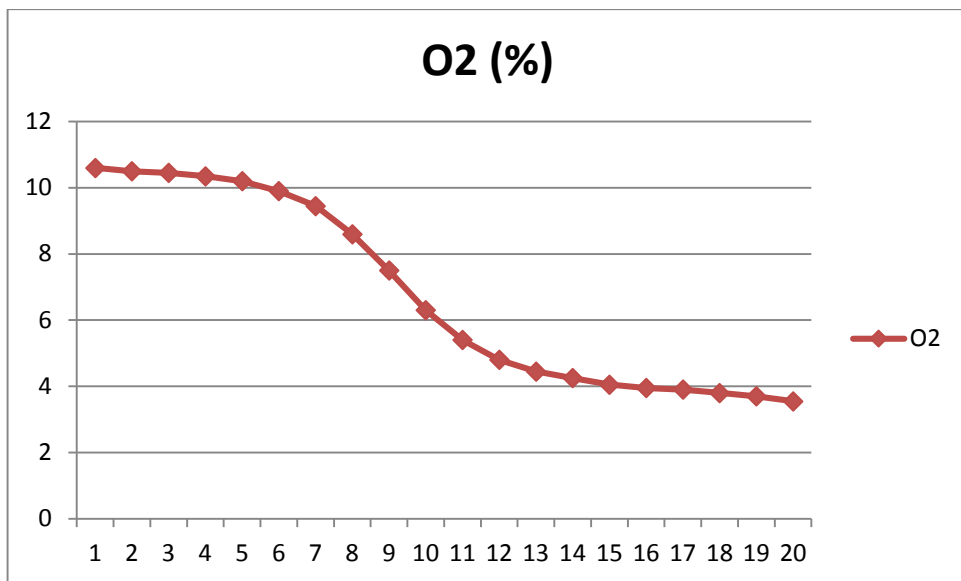


Gráfico 4.10. Nivel del oxígeno en la etapa de altas revoluciones del motor⁴⁴

En la segunda grafica del O₂ el porcentaje de la concentración del gas es mucho más elevada que en la grafica del régimen de ralentí pero igualmente tiene la misma tendencia a disminuir mientras se aumentan las revoluciones y esto se debe a que el motor diesel requiere para su

⁴³ Elaborado por: Jorge Acosta

⁴⁴ Elaborado por: Jorge Acosta

buena combustión una gran cantidad de aire; el O_2 reacciona de mejor manera con el combustible emanando pocas cantidades de este gas.

Se debe tener en cuenta que cuando la combustión es rica en oxígeno, el mismo se puede mezclar con el azufre que contiene el diesel formando dióxido de azufre y un porcentaje de SO_2 se oxida a SO_3 , el cual se disuelve en el vapor de agua presente también como producto de la combustión y pasa a formar vapor de ácido sulfúrico (H_2SO_4), sustancia que sirve como mecanismo primario para la iniciación de partículas ultra finas o material particulado en el escape del motor diesel como veremos a continuación.

4.1.6. Material particulado

El material particulado del diesel no es más que partículas de carbono que se generan en el cilindro del motor al momento de la combustión y que por tener un rango de tamaño muy pequeño son considerados como un contaminante que perjudica en gran medida la salud humana. Cuando el motor se encuentra en el régimen de ralentí las emisiones del PM es muy irregular a medida que transcurren las revoluciones del motor y esto se puede deber a que el motor no ha alcanzado todavía su temperatura óptima de funcionamiento.

Además, el material particulado en grandes proporciones de concentración puede dar lugar a la formación de otras sustancias tóxicas y por tratarse de combustible diesel el que se está usando, se mezcla con el azufre y genera el MP de sulfato que contribuye directamente a las emisiones de MP_{10} y $MP_{2.5}$ con sus asociados efectos sobre la salud y el medio ambiente anteriormente mencionados.

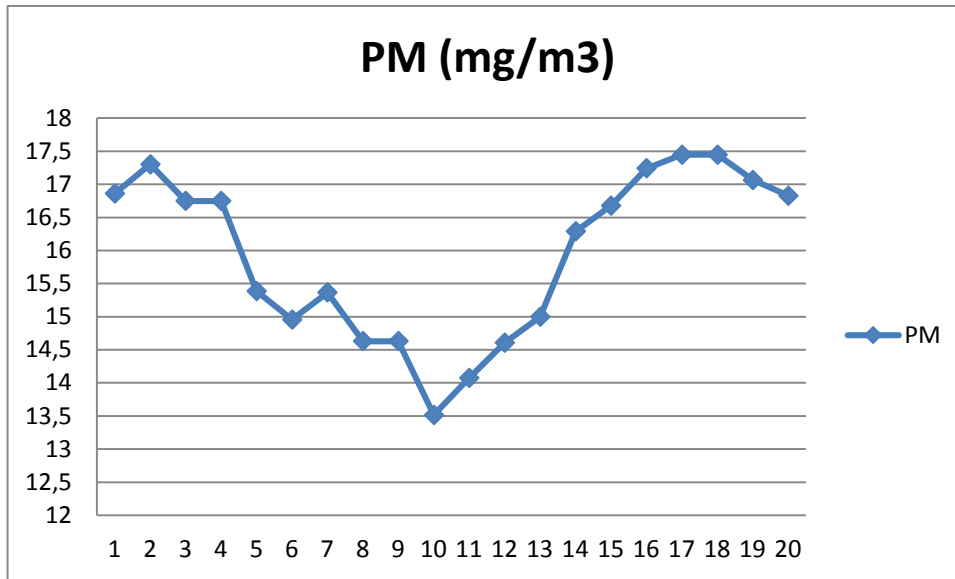


Gráfico 4.11. Nivel del material particulado en la etapa de ralentí del motor⁴⁵

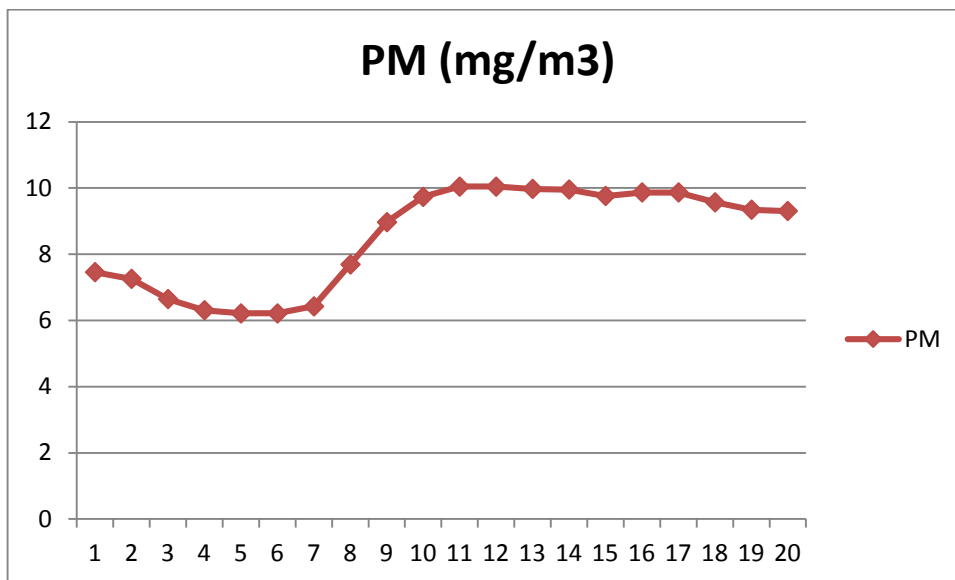


Gráfico 4.12. Nivel del material particulado en la etapa de altas revoluciones del motor⁴⁶

Pero en la grafica de las altas revoluciones del motor se puede apreciar primeramente que el nivel de emisiones del PM es mucho menor que a la grafica anterior; también se puede observar en esta grafica que no tiene saltos muy grandes entre un punto y otro, se llega a

⁴⁵ Elaborado por: Jorge Acosta

⁴⁶ Elaborado por: Jorge Acosta

incrementar en ciertos puntos cuando se revoluciona mas el motor pero llega a encontrar su estabilidad aunque sigan aumentando las rpm del motor, siendo este el régimen mas optimo para obtener bajas concentraciones de material particulado del diesel.

4.1.7. Azufre

Cabe señalar que aunque no se hizo un estudio ni se obtuvo datos específicos sobre el azufre, es una sustancia que se va a encontrar en todo el proceso de combustión y emanación de gases de escape del motor con combustible diesel dado a que se encuentra naturalmente en el combustible extraído del petróleo y que al mezclarse con otras elementos como el oxígeno o el material particulado forman nuevos compuestos que son muchos más dañinos para el ser humano y para el medio ambiente.

Pero si se tiene como dato que en la ciudad de Quito, el diesel que se distribuye en las gasolineras tiene un límite máximo de hasta 500 ppm de azufre; sin embargo en el resto del país se sigue distribuyendo diesel con 7000 ppm de azufre (Diesel 2), niveles que aun siguen siendo altos para la introducción de nuevas tecnologías y una reducción significativa de gases de impacto al medio ambiente.

4.2. ANALISIS DE GASES EMITIDOS POR EL MOTOR DE ACEITE VEGETAL.

Acabadas las pruebas con el motor diesel se procedió a la adaptación de los componentes anteriormente mencionados para el optimo funcionamiento con aceite vegetal y es así como tenemos las siguientes tablas de datos que se obtuvo al realizar las pruebas al motor y como se hizo en el análisis con el combustible diesel, también se tendrá en cuenta dos regímenes del motor, en ralentí y en altas revoluciones.

Tabla 4.3. Datos generales de los gases analizados en la etapa de ralentí del motor a aceite vegetal⁴⁷

	GASES ANALISADOS (ralentí)					
	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]	CO2[%]	O2[%]	PM[mg/m3]
1 seg.	248	9	0,249	10,85	7,3	5,106
2 seg.	245	10	0,258	10,94	6,2	6,024
3 seg.	241	11	0,262	11,04	5,7	8,938
4 seg.	241	12	0,263	11,1	5,4	9,887
5 seg.	248	13	0,263	11,14	5,2	9,802
6 seg.	261	14	0,257	11,21	5	9,341
7 seg.	274	15	0,25	11,29	4,8	8,891
8 seg.	282	15	0,246	11,37	4,6	8,317
9 seg.	287	16	0,243	11,47	4,4	7,948
10 seg.	292	17	0,241	11,55	4,3	7,54
11 seg.	295	18	0,24	11,65	4,2	7,045
12 seg.	299	19	0,239	11,74	4	6,85
13 seg.	304	19	0,239	11,85	3,9	6,791
14 seg.	312	20	0,238	11,94	3,7	6,94
15 seg.	320	21	0,238	12,04	3,5	7,088

⁴⁷ Elaborado por Jorge Acosta, Datos obtenidos por el equipo "Montana"

16 seg.	328	21	0,238	12,15	3,4	7,433
17 seg.	337	22	0,237	12,27	3,2	7,696
18 seg.	346	22	0,235	12,36	3	7,834
19 seg.	356	22	0,231	12,44	2,9	7,859
20 seg.	365	21	0,226	12,51	2,9	7,791

Tabla 4.4. Datos generales de gases analizados en la etapa de altas revoluciones del motor a aceite vegetal⁴⁸

	GASES ANALISADOS (altas revoluciones)					
	NOx[ppm]	HC[ppm]	CO[%]	CO2[%]	O2[%]	PM[mg/m3]
1 seg.	308	4	0,046	3	17,5	0,62
2 seg.	347	3	0,041	3,11	17	0,464
3 seg.	359	3	0,038	3,13	16,8	0,297
4 seg.	358	2	0,035	3,13	16,7	0,154
5 seg.	354	2	0,033	3,14	16,7	0,178
6 seg.	352	1	0,031	3,14	16,7	0,15
7 seg.	349	1	0,03	3,14	16,7	0,138
8 seg.	346	0	0,03	3,13	16,7	0,113
9 seg.	340	0	0,029	3,12	16,7	0,148
10 seg.	338	0	0,028	3,12	16,7	0,162
11 seg.	336	0	0,028	3,12	16,7	0,185
12 seg.	332	0	0,028	3,12	16,6	0,18
13 seg.	328	0	0,027	3,12	16,7	0,198
14 seg.	324	-1	0,027	3,12	16,6	0,211
15 seg.	318	-1	0,027	3,12	16,6	0,242
16 seg.	311	-1	0,027	3,12	16,6	0,198
17 seg.	307	-1	0,027	3,13	16,6	0,233
18 seg.	305	0	0,027	3,13	16,6	0,169
19 seg.	302	0	0,027	3,13	16,6	0,203
20 seg.	300	0	0,027	3,14	16,6	0,225

⁴⁸ Elaborado por Jorge Acosta, Datos obtenidos por el equipo "Montana"

Según las tablas de datos generales de los gases obtenidos se procederá al análisis de cada gas por separado, empezando por los óxidos de nitrógeno:

4.2.1. Óxidos de Nitrógeno

Al comenzar la prueba en el régimen de ralentí del motor, mientras las revoluciones van aumentando, las concentraciones de los NO_x se incrementan de igual manera llegando a un punto máximo de 365 ppm debido a que la temperatura del motor favorece a la formación de óxidos de nitrógeno.

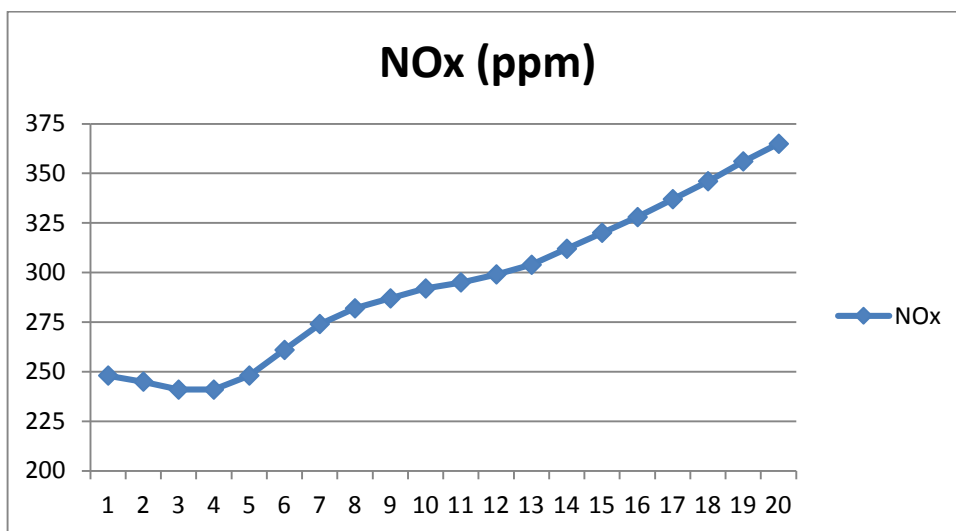


Gráfico 4.13. Nivel de los NO_x en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal⁴⁹

⁴⁹ Elaborado por Jorge Acosta

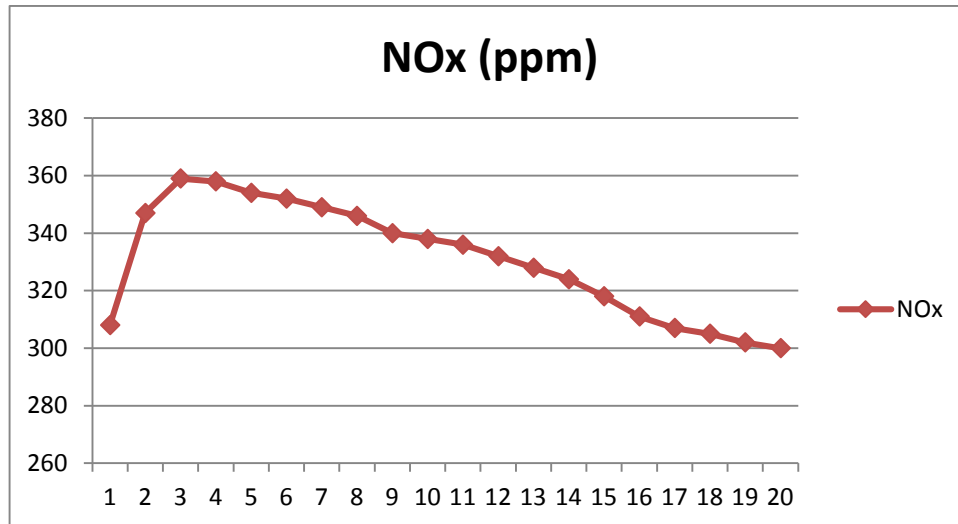


Gráfico 4.14. Nivel de los NO_x en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal⁵⁰

Pero ya en la etapa de altas revoluciones, los niveles de NO_x aunque son más altos que en la etapa de ralentí llegan solo hasta un punto donde después las concentraciones comienzan a decaer totalmente mientras más revoluciones se aumentan al motor. Así podemos constatar que el mejor régimen del motor para obtener bajos niveles de óxidos de nitrógeno con aceite vegetal como combustible es la etapa de ralentí.

4.2.2. Hidrocarburos no quemados

El siguiente gas a analizar son los hidrocarburos no quemados; como se menciono anteriormente es gracias a la formación de este compuesto que se puede evidenciar visualmente si los gases emanados forman el hollín o la nube negra características de los motores diesel, pero dado a que el combustible que se está usando es aceite vegetal, se puede constatar que los gases emanados son casi imperceptibles para la vista e incluso el olor de los gases de escape es diferente.

⁵⁰ Elaborado por Jorge Acosta

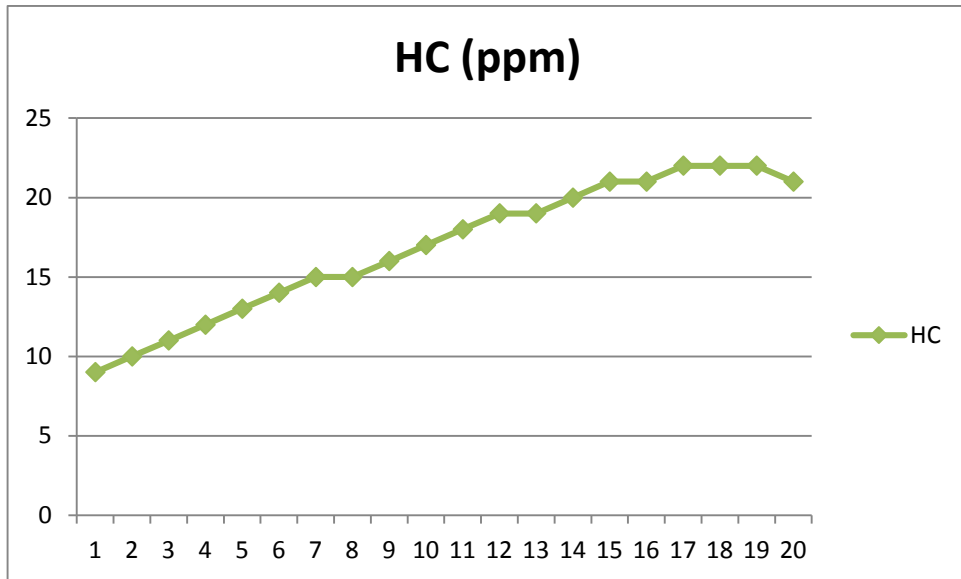
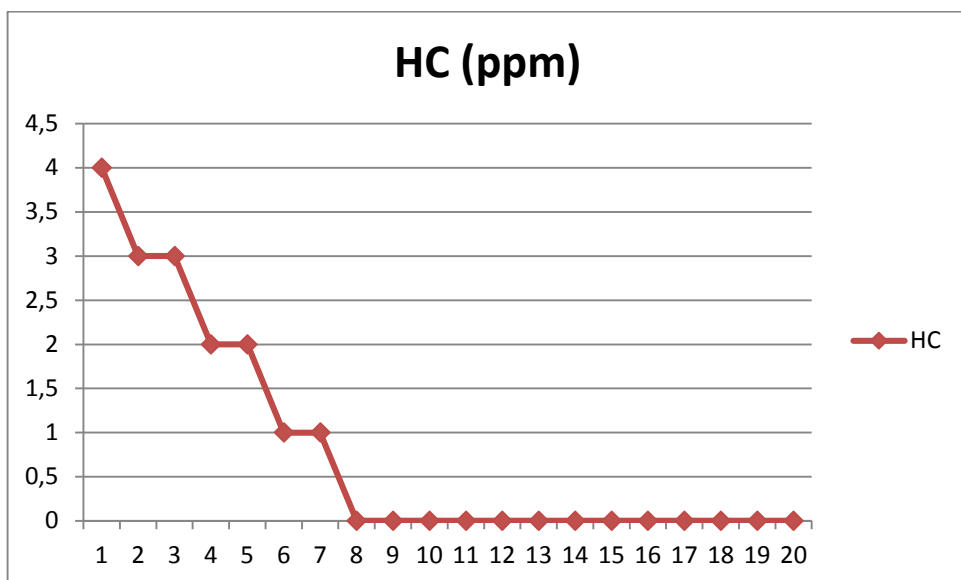


Gráfico 4.15. Nivel de los HC en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal⁵¹

Los primeros datos obtenidos del régimen de ralentí nos muestran en la gráfica que las concentraciones de los hidrocarburos no quemados aumentan a un ritmo casi directamente proporcional al aumento de revoluciones del motor pero al final se puede observar la tendencia a disminuir las concentraciones mientras se aumenten las rpm.



⁵¹ Elaborado por Jorge Acosta

Gráfico 4.16. Nivel de los HC en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal⁵²

En la segunda grafica con las altas revoluciones del motor, la concentración de los hidrocarburos no quemados es considerablemente menor a las que teníamos anteriormente y según se aumentan más las rpm del motor los HC tienden a bajar hasta llegar a un valor de cero, lo que nos quiere decir que ya no tenemos residuos de este gas como producto de la combustión siendo una de los primeras ventajas que se puede encontrar al usar el aceite vegetal como combustible para el motor diesel.

4.2.3. Monóxido de Carbono

La aparición del monóxido de carbono (CO) como uno de los gases de escape se debe a que el aceite vegetal también está estructurado por largas cadenas de carbono, pero como la combustión que se produce en su mayor parte es completa, los niveles de CO son mínimos y podemos observar en la primera gráfica que cuando comienza la marcha del motor la concentración del monóxido de carbono aumenta solo un poco en los primeros incrementos de las revoluciones pero posteriormente mientras más se aumentan las rpm mas tiende a disminuir las concentraciones del gas.

⁵² Elaborado por Jorge Acosta

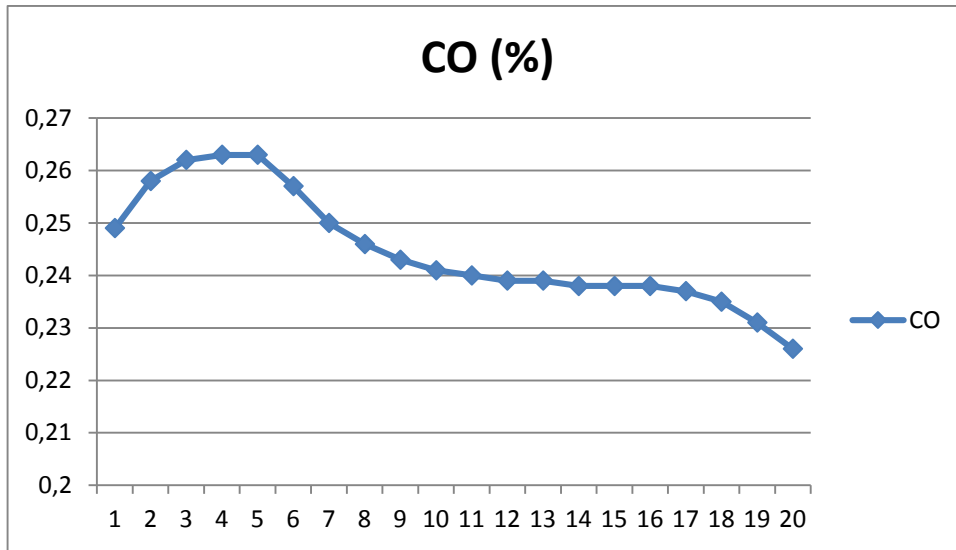


Gráfico 4.17. Nivel de los CO en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal⁵³

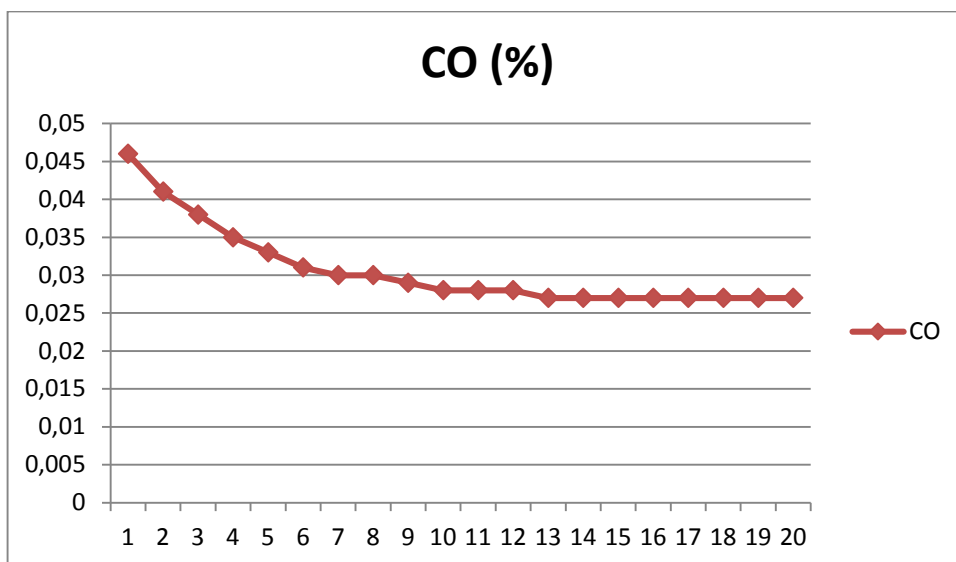


Gráfico 4.18. Nivel de los CO en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal⁵⁴

En la segunda gráfica se puede apreciar que los niveles del CO son considerablemente menores que a la primera gráfica y tienden a disminuir las concentraciones mientras más se aumentan las revoluciones del motor pero se puede observar que en los puntos finales de la

⁵³ Elaborado por Jorge Acosta

⁵⁴ Elaborado por Jorge Acosta

gráfica la concentración de CO es totalmente estable y así mismo se obtiene el punto más bajo de este gas (0,027%).

4.2.4. Dióxido de Carbono

Así mismo, el dióxido de carbono es uno de los gases de escape que se espera de la combustión de un motor pero mientras en menor cantidad se lo pueda encontrar como producto de la combustión será mucho mejor dado al efecto invernadero que produce en nuestro planeta. En los primeros datos obtenidos en el régimen de ralentí del motor, la gráfica nos muestra un incremento lineal a medida que se aumentan las revoluciones, teniendo como nivel máximo un 12,51% de CO₂.

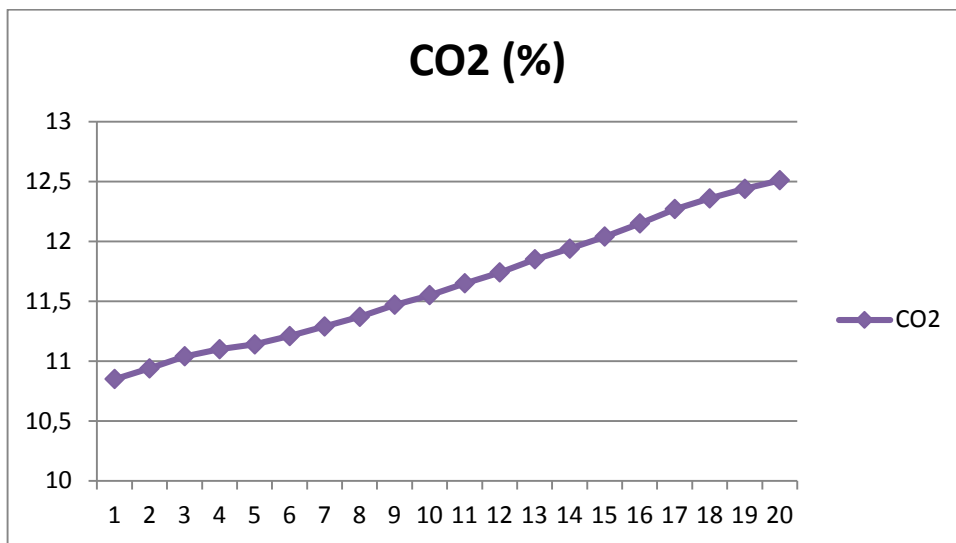


Gráfico 4.19. Nivel de los CO₂ en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal⁵⁵

⁵⁵ Elaborado por Jorge Acosta

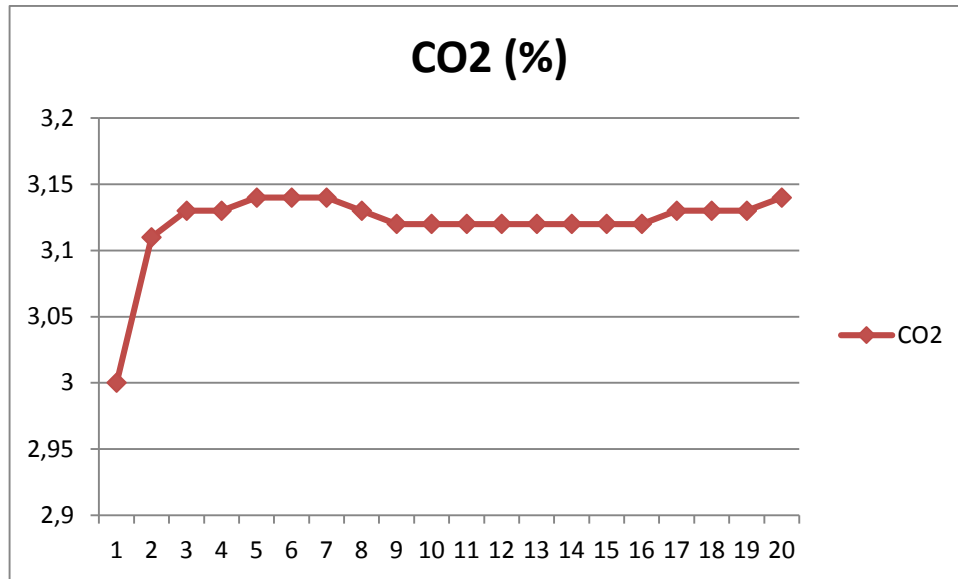


Gráfico 4.20. Nivel de los CO₂ en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal⁵⁶

Pero en la gráfica con altas revoluciones del motor podemos apreciar que las concentraciones del dióxido de carbono han disminuido y su variación entre un punto a otro no es mayor a 0,02% manteniéndose de esta manera casi estable las concentraciones a medida que se siguen aumentando las revoluciones del motor y siendo este régimen y el régimen de las revoluciones medias del motor las más aptas para obtener niveles más bajos de dióxido de carbono.

4.2.5. Oxígeno

El oxígeno es uno de los elementos más importantes presentes en la composición del aire y esencial para la respiración de todos los seres vivos, pero cuando es producto de la combustión de un motor y bajo ciertas condiciones puede llegar a convertirse en un inconveniente como veremos más adelante.

⁵⁶ Elaborado por Jorge Acosta

La gráfica generada por los datos obtenidos cuando se pone en marcha el motor, demuestra que comienza en su punto más alto de O₂ (7,3%) pero a medida que se aumentan las revoluciones del motor las concentraciones del oxígeno disminuyen paulatinamente y esto se debe a que a causa del incremento de las revoluciones, el motor tiene que inyectar mayor cantidad de aceite vegetal dentro del cilindro, teniendo el oxígeno menor participación en el proceso de combustión.

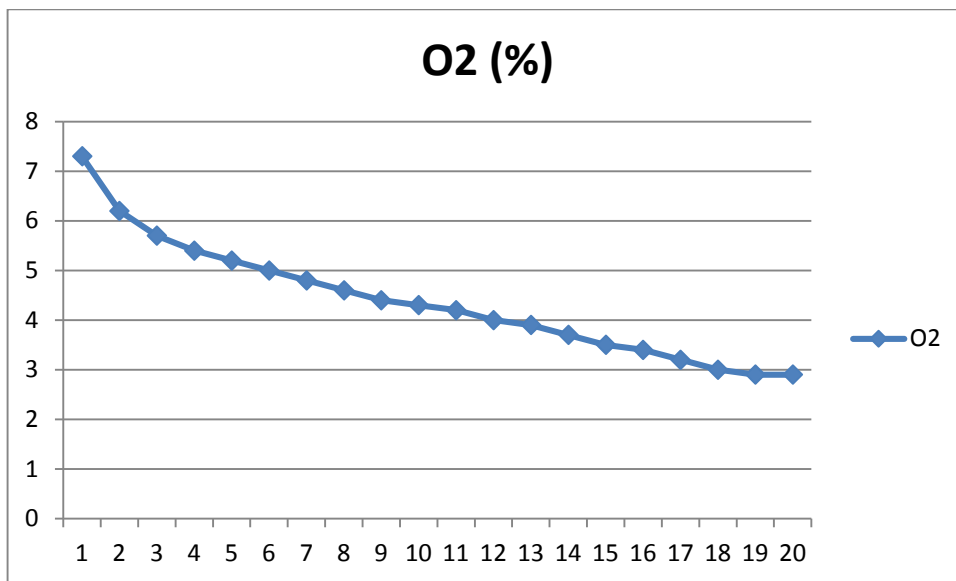


Gráfico 4.21. Nivel del O₂ en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal⁵⁷

⁵⁷ Elaborado por Jorge Acosta

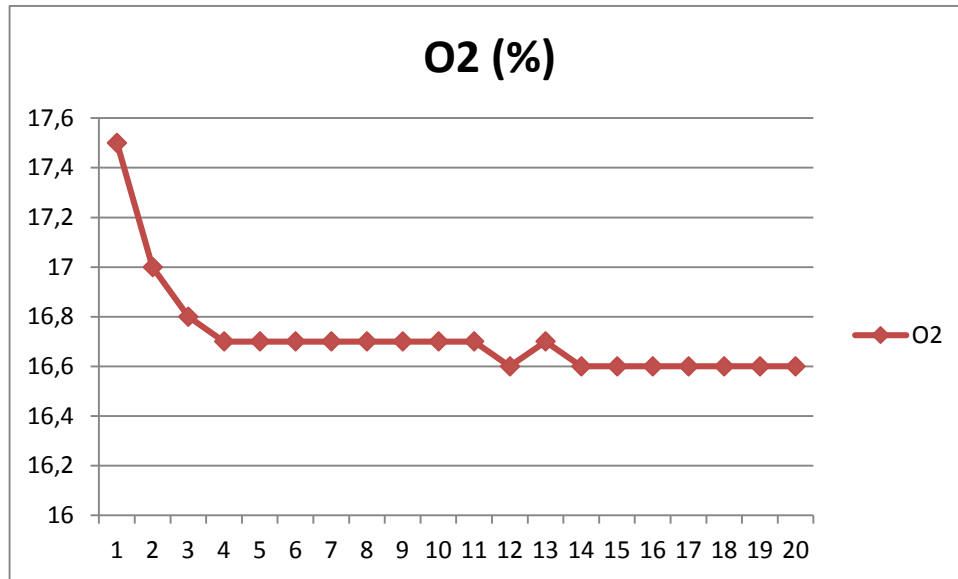


Gráfico 4.22. Nivel del O₂ en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal⁵⁸

Ahora para el régimen de las altas revoluciones del motor, las concentraciones de oxígeno son más elevadas que en el régimen de ralentí pero mientras se comienzan a incrementar las revoluciones tiende a bajar los niveles pero hasta llegar a un punto de equilibrio donde a pesar de que se incrementen las revoluciones del motor, el nivel de O₂ no varía más allá del 0,1%.

En el caso de encontrar un exceso de oxígeno como producto de la combustión, junto a los óxidos de nitrógeno y a los hidrocarburos, pueden reaccionar químicamente en la atmósfera con la ayuda de la luz solar y obtener ozono (O₃). El ozono es un contaminante muy dañino para la salud humana por su capacidad de irritar las vías respiratorias y además es uno de los componentes del smog fotoquímico.

4.2.6. Material particulado

⁵⁸ Elaborado por Jorge Acosta

El material particulado es generado a causa de las partículas de carbono que quedan en suspensión en el ambiente y que se pueden combinar con otros compuestos que son emanados por el motor a causa de la combustión del combustible y que pueden llegar a ser cancerígenos para el ser humano pero debido a que usa el aceite vegetal de canola como combustible, las emisiones de PM son mínimas afectando de igual manera a otros compuestos que se puedan formar.

En la primera gráfica con las revoluciones del motor comenzando en el régimen de ralentí, las concentraciones de material particulado oscilan entre los 5,10 mg/m³ y los 7,79 mg/m³, elevándose drásticamente las concentraciones de PM hasta llegar al mayor valor registrado de 9,88 mg/m³ pero a partir de este punto progresivamente mientras se aumentan las revoluciones del motor los niveles de PM tienden a disminuir sin lograr superar el valor máximo anteriormente mencionado.

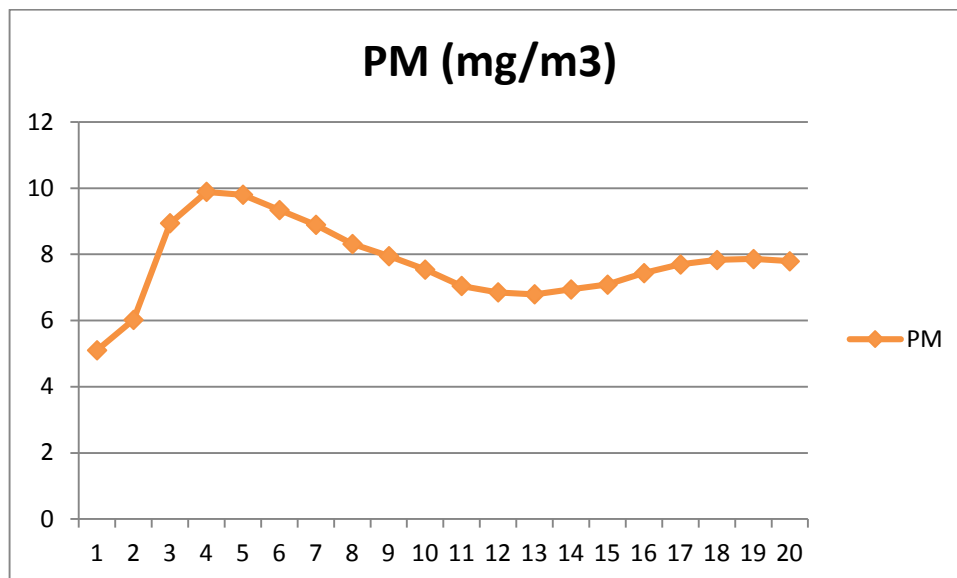


Gráfico 4.23. Nivel del PM en la etapa de ralentí del motor con aceite vegetal⁵⁹

⁵⁹ Elaborado por Jorge Acosta

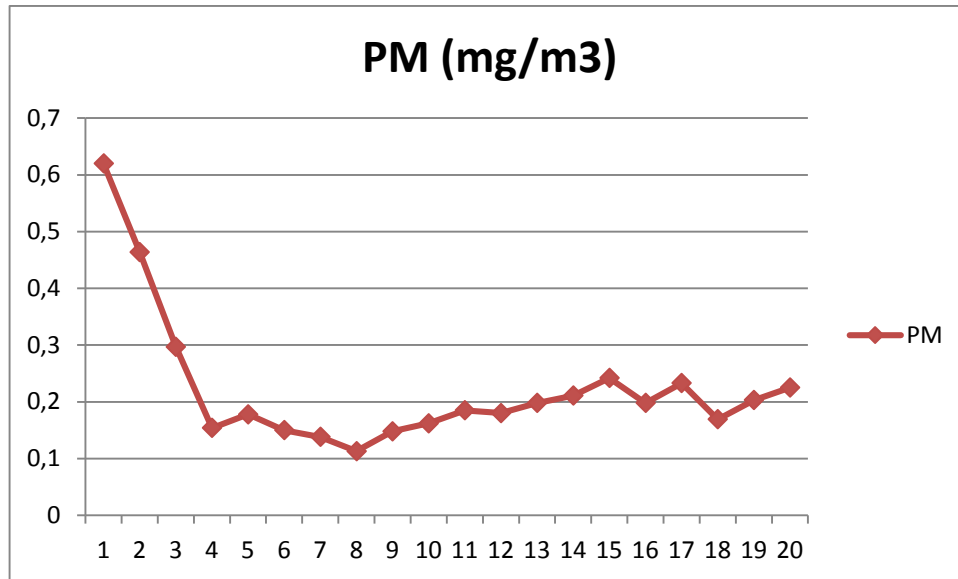


Gráfico 4.24. Nivel del PM en la etapa de altas revoluciones del motor con aceite vegetal⁶⁰

En el régimen de las altas revoluciones del motor, en la gráfica los niveles de material particulado han descendido notablemente hasta 0,62 mg/m³ y a partir de este punto comienzan a descender aun mas las concentraciones mientras se siguen incrementando las revoluciones, llegando a niveles que la variación entre un punto a otro no es mayor a 0,1 mg/m³. Estos niveles tan bajos de material particulado influyen directamente y en gran medida a que no se formen otros compuestos que son muy perjudiciales para la salud y para el medio ambiente.

4.2.7. Azufre

Sin duda la mayor ventaja que se produce al usar aceite vegetal como combustible es que no contiene azufre y por tanto no entra en el proceso de combustión y no se obtienen ni se forman compuestos contaminantes relacionados con el azufre, lo que contribuye a la

⁶⁰ Elaborado por Jorge Acosta

disminución del impacto ambiental que genera este gas y que es de gran preocupación a nivel mundial.

4.3. ANALISIS COMPARATIVO DE LOS MOTORES.

4.3.1. Óxidos de Nitrógeno

Para los motores diesel uno de los gases que más importancia se le da por su toxicidad tanto para seres humanos como para el medio ambiente son los óxidos de nitrógeno y que inevitablemente va a estar presente tanto para la combustión del diesel como del aceite vegetal. Además el nivel que se registre de este gas emanado por los dos combustibles usados, tiene relación directa con la temperatura que se produzca dentro de la cámara de combustión del motor; mientras mayor sea la temperatura, mas alta es la concentración de los NO_x.

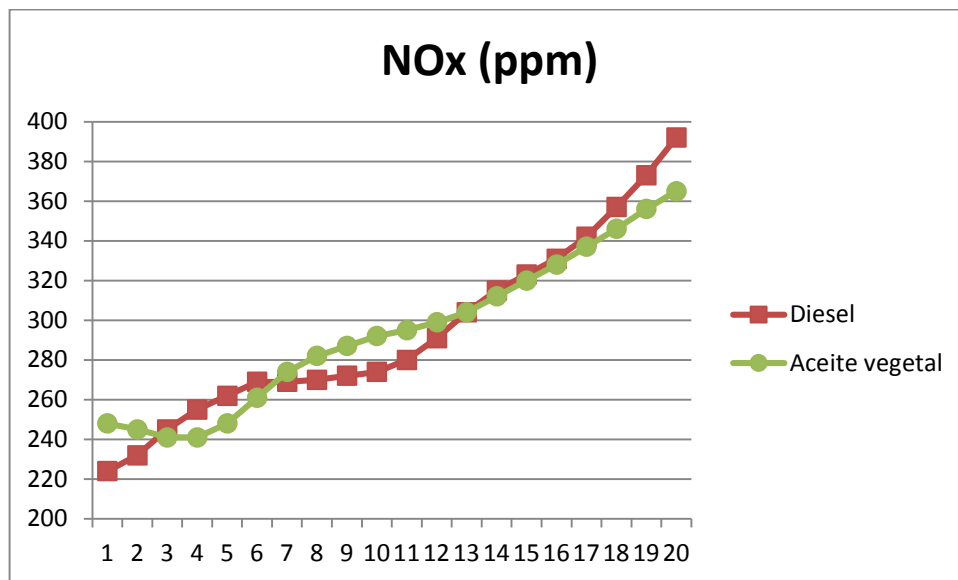


Gráfico 4.25. Resultante de los niveles de NO_x para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí⁶¹

⁶¹ Elaborado por Jorge Acosta

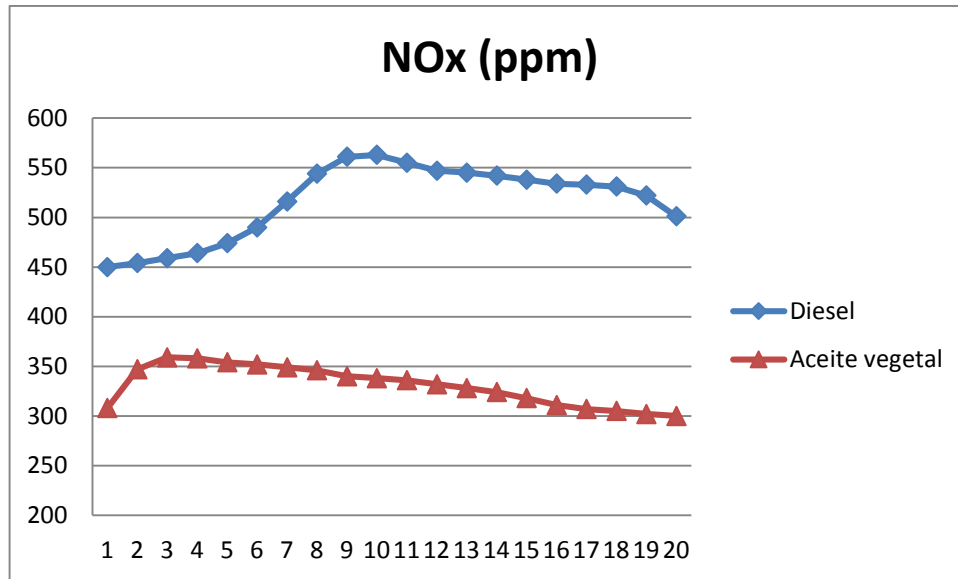


Gráfico 4.26. Resultante de los niveles de NO_x para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones.⁶²

Se puede observar en el primer grafico los datos resultantes del diesel y del aceite vegetal en el régimen de ralentí del motor, y cuando comienza la marcha del mismo, las concentraciones más altas las registra el aceite vegetal en 248 ppm a diferencia de los 224 ppm del diesel y en ambos casos a partir de ahí, mientras se siguen aumentando las revoluciones las concentraciones aumentan también, pero al final de la grafica se puede constatar que mas tiende a incrementar las concentraciones el combustible diesel llegando a su punto más alto a 392 ppm mientras que el punto más alto con el aceite vegetal llega a 365 ppm.

En la segunda gráfica con el régimen del motor en altas revoluciones ya se puede observar una gran diferencia en las concentraciones entre el combustible diesel y el aceite vegetal. Al comienzo de esta prueba las concentraciones de NO_x para el diesel ya se encuentran en 450 ppm, nivel que es más elevado a lo que se registro en toda la prueba con el régimen en ralentí,

⁶² Elaborado por Jorge Acosta

y que se sigue incrementando mientras se elevan las revoluciones del motor pero llegan hasta un punto máximo de 563 ppm para luego tender a disminuir las concentraciones.

En cambio para el aceite vegetal se tiene en el inicio de esta prueba que las concentraciones se encuentran en 308 ppm de NO_x y tienden a incrementarse un poco con el paso de las rpm del motor para luego disminuir las concentraciones llegando a un punto de 300 ppm, nivel de concentraciones que en ningún punto llegan a superar los niveles que se tuvo en el régimen de ralentí. Claramente se puede constatar que en las dos pruebas se ha llegado a disminuir las concentraciones de óxidos de nitrógeno usando el aceite vegetal de canola como combustible, eliminando en gran medida uno de los contaminantes más dañinos que emiten los automóviles.

4.3.2. Hidrocarburos no quemados

Los hidrocarburos no quemados son generados cuando existe una combustión incompleta del combustible y que junto con otros componentes que se forman en el escape del motor contribuye a la formación del smog fotoquímico. En el caso del combustible diesel tenemos que al comenzar el régimen del motor en ralentí, los HC se encuentran en 19 ppm y mientras se aumentan las revoluciones las concentraciones son un tanto irregulares pero tienden a subir hasta llegar a 25 ppm y estabilizarse en este nivel, mientras que para el aceite vegetal como combustible tenemos en el mismo régimen que su punto inicial es de 9 ppm y continúan aumentando de una forma progresiva con el paso de las revoluciones del motor teniendo como punto máximo para esta prueba 22 ppm, cifra que no supera las concentraciones que se obtuvieron para el combustible diesel.

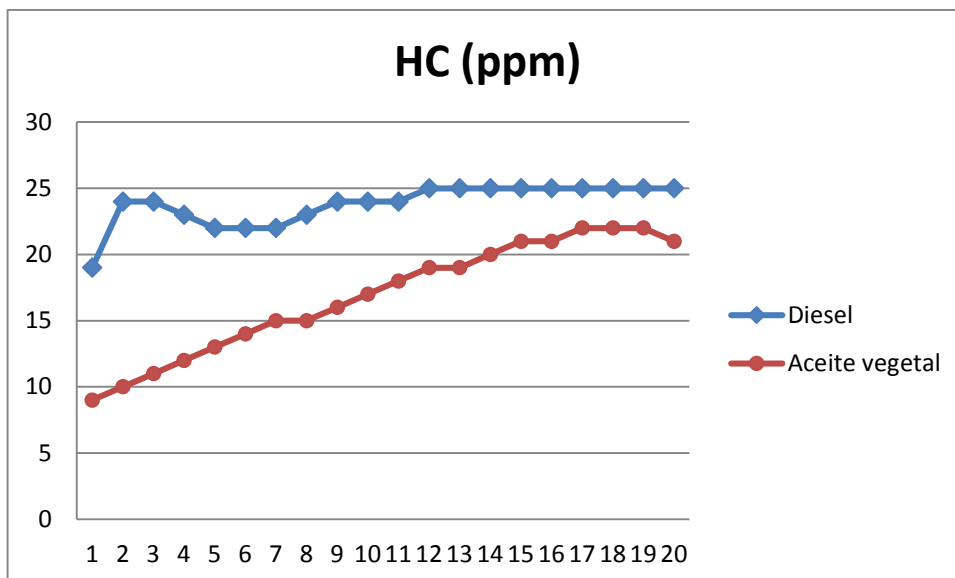


Gráfico 4.27. Resultante de los niveles de HC para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí⁶³

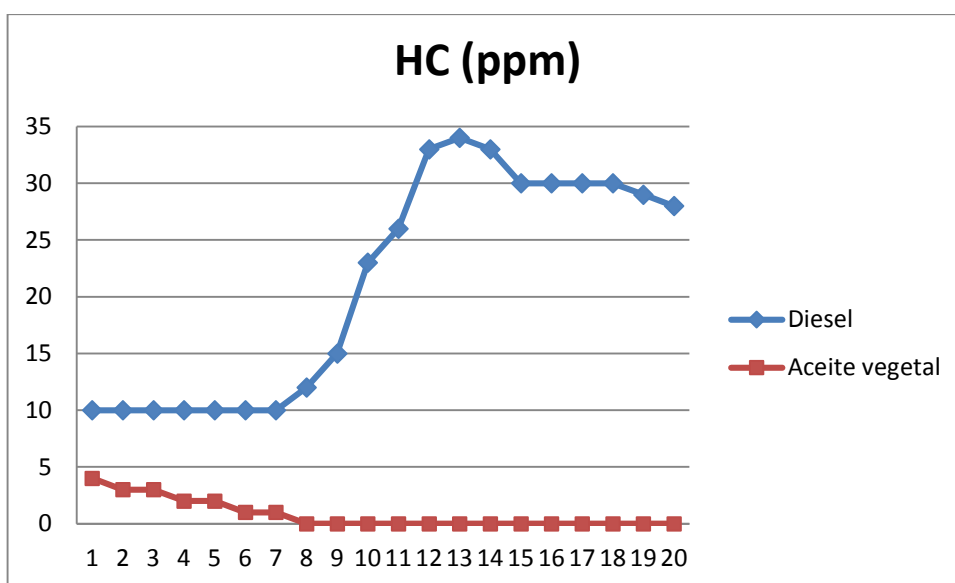


Gráfico 4.28. Resultante de los niveles de HC para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor⁶⁴

En la medición de los hidrocarburos no quemados con el régimen de altas revoluciones con el combustible diesel se puede observar que al comienzo de la prueba las concentraciones

⁶³ Elaborado por Jorge Acosta

⁶⁴ Elaborado por Jorge Acosta

son estables en un valor de 10 ppm pero llegan a incrementarse notablemente con el paso de las revoluciones hasta llegar a su punto máximo de 34 ppm y luego decaer para mantenerse cerca de los 30 ppm. En cambio para el aceite vegetal, las concentraciones de los HC se encuentran muy por debajo a lo que presenta el combustible diesel, un valor de 4 ppm y que tienden a disminuir mientras se elevan las revoluciones llegando a un optimo valor de 0 ppm.

Estos niveles son incluso más bajos a los registrados en el régimen de ralentí para ambos casos, y un factor muy importante para esta causa es la alta temperatura que llega a alcanzar la cámara de combustión del motor, llegando a quemar totalmente los hidrocarburos lo que es un gran beneficio ya que no se producirán otros compuestos dañinos para el medio ambiente siendo de esta manera mas optimo en un régimen alto el aceite vegetal como combustible.

4.3.3. Dióxido de Carbono

Como se menciona anteriormente, el dióxido de carbono es uno de los contaminantes que más cuidado se le pone por ser el mayor causante del efecto invernadero en nuestro planeta y para la primera prueba con el régimen de ralentí del motor se puede apreciar en la gráfica que el aceite vegetal de canola presenta menos concentraciones de CO₂ con un valor de 10,85% mientras el diesel presenta un valor más alto de 11,25%; y a medida que se incrementan las revoluciones, en ambos casos los niveles de CO₂ también se incrementan de una forma lineal pero manteniéndose siempre el aceite vegetal por debajo de la línea del combustible diesel.

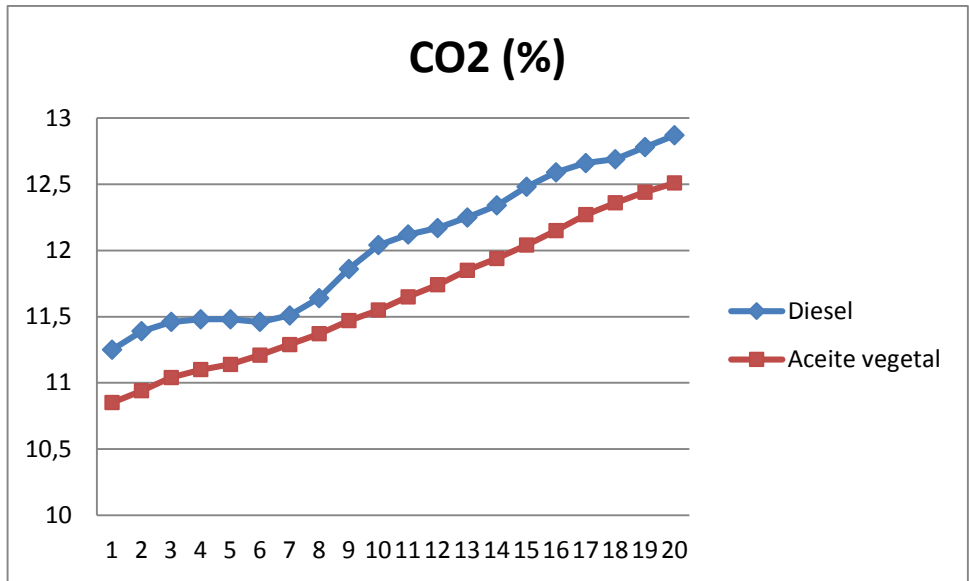


Gráfico 4.29. Resultante de los niveles de CO₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí⁶⁵

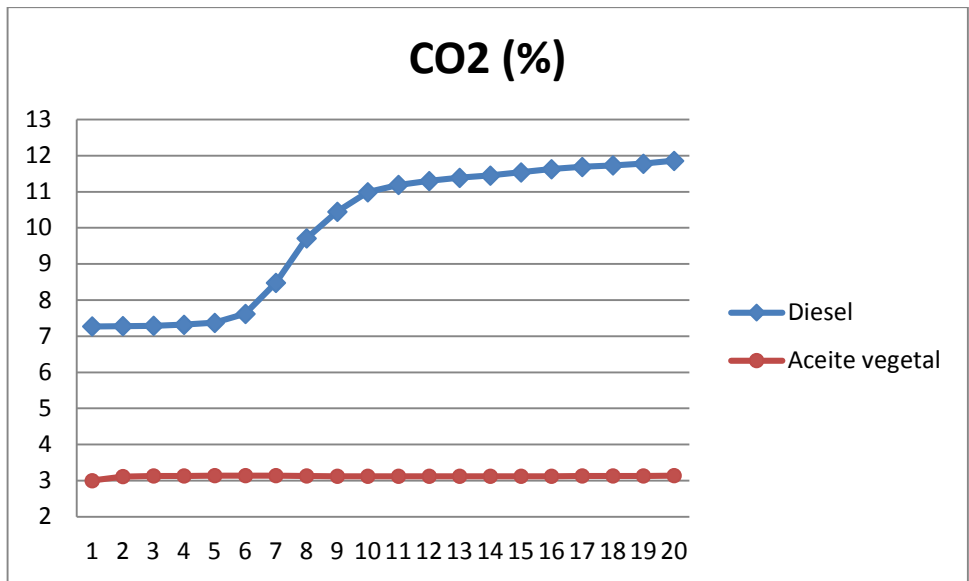


Gráfico 4.30. Resultante de los niveles de CO₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor⁶⁶

Ya en el régimen de las altas revoluciones del motor se puede observar en la gráfica que existe una mayor diferencia de las concentraciones de CO₂ entre los dos combustibles

⁶⁵ Elaborado por Jorge Acosta

⁶⁶ Elaborado por Jorge Acosta

usados, teniendo como primer valor de la gráfica para el diesel de 7,27% y que tiende a incrementarse ligeramente llegando a tener un valor máximo de 11,86% mientras que el aceite vegetal comienza la prueba con un valor 3% y mientras se aumentan las revoluciones del motor, la concentración del gas no pasa más allá del 3,14%, cifra que se encuentran muy por debajo de los límites máximos permitidos, haciéndolo eficiente y amistoso con el medio ambiente.

4.3.4. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono se produce cuando la combustión es incompleta dentro del cilindro del motor, y de todos los gases estudiados es el más tóxico para el ser humano ya que dada las circunstancias puede llegar a causar la muerte. En la primera prueba con el régimen del motor en ralentí, para el combustible diesel se tiene como primer valor 0,571% de CO y que con el paso de las revoluciones se puede ver que es irregular los datos obtenidos, pero la diferencia entre un punto a otro no es mayor a 0,1% pero al final de la gráfica se puede apreciar la tendencia disminuir en mayor medida y esto se debe a que la cámara de combustión ya ha alcanzado una temperatura óptima de funcionamiento y quemando de mejor manera el combustible, obteniendo de esta manera menores porcentajes de monóxido de carbono.

En cuanto al aceite vegetal se obtuvo que el porcentaje que se registra es menor que el diesel (0,249% CO) y con el paso de las revoluciones el nivel de las concentraciones tiende a mantenerse casi estable, siendo variaciones entre un punto a otro de 0,02% como máximo, con una tendencia a disminuir las concentraciones al final de la prueba a causa de la temperatura que se alcanza como se mencionó anteriormente.

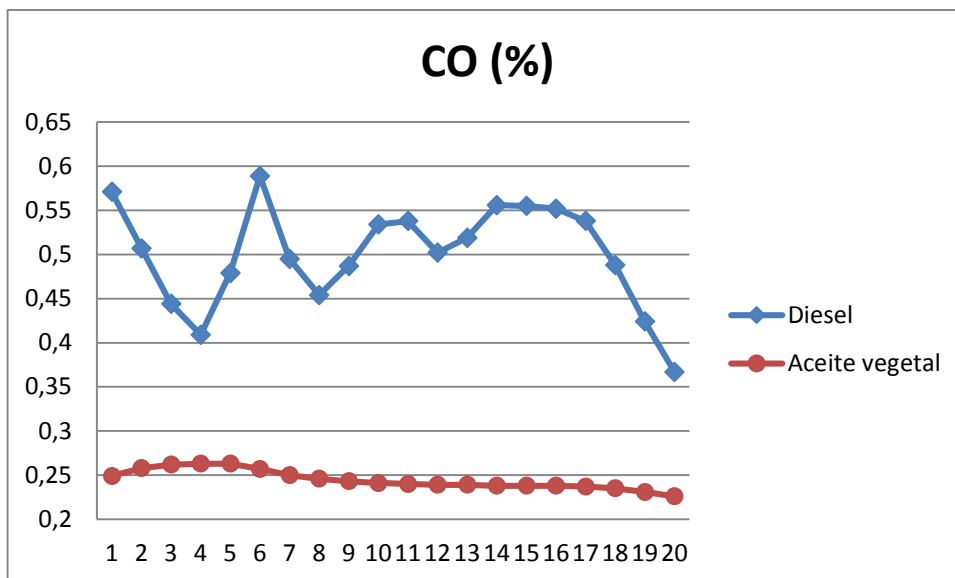


Gráfico 4.31. Resultante de los niveles de CO para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí⁶⁷

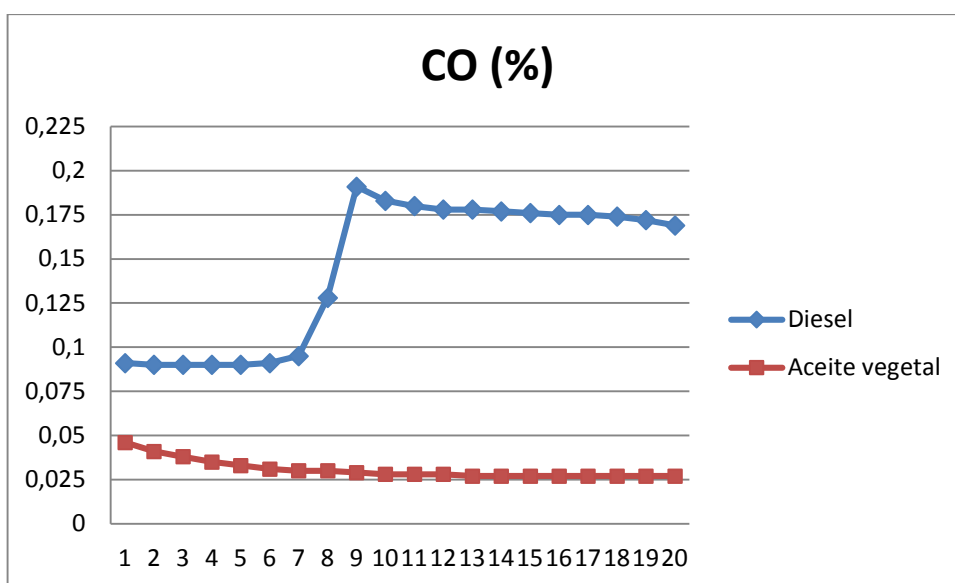


Gráfico 4.32. Resultante de los niveles de CO para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor⁶⁸

Con las revoluciones altas del motor, para el combustible diesel las concentraciones de CO en general en toda la prueba son menores a las que se encontraron en el régimen de ralentí,

⁶⁷ Elaborado por Jorge Acosta

⁶⁸ Elaborado por Jorge Acosta

el valor de 0,091% se tiende a incrementar debido a que el motor al aumentar las revoluciones es más exigido y se suministra mas combustible generando un incremento en los niveles de monóxido de carbono pero se mantienen estable dado que la combustión se está dando en una manera eficiente.

Ahora con el aceite vegetal para la misma prueba se observa que los niveles de CO son más bajos que los niveles que presenta el diesel e igualmente son más bajos que los niveles encontrados en la prueba de ralentí con un valor de 0,046% de CO y que tiende a disminuir con el aumento de las revoluciones hasta llegar a 0,027%.

Con todos los datos obtenidos se los puede comparar con la siguiente tabla de efectos que causa la exposición a este gas si una persona en caso se encuentra en un lugar cerrado y sin la ventilación apropiada.

Tabla 4.5. Efectos en la salud por la exposición de concentración de CO en el aire⁶⁹

CONCENTRACIÓN EN AIRE	EFECTO
0,01 %	Exposición de varias horas sin efecto
0,04 - 0,05 %	Exposición una hora sin efectos
0,06 - 0,07 %	Efectos apreciables a la hora
0,12 - 0,15 %	Efectos peligrosos a la hora
0,4 %	Mortal a la hora

Por lo que se puede concluir entonces que tanto para el diesel como para el aceite vegetal:

⁶⁹ Indoor Air Quality (IAQ), U.S Environmental Protection Agency

- El diesel con su valor máximo de 0,589% de CO es mortal para una persona dentro de una hora si se mantiene el motor en el régimen de ralentí.
- Las concentraciones de diesel para un régimen de altas revoluciones tiene efectos peligrosos para una persona dentro de una hora.
- Para el aceite vegetal con el motor en ralentí las concentraciones llegan a ser peligrosas dentro de una hora.
- En el régimen de altas revoluciones del motor para el aceite vegetal, los valores son tan bajos que se puede estar expuestos algunas horas sin presentar efectos.

4.3.5. Oxígeno

Para el oxígeno, las dos gráficas que se presentan tienen la característica de ser inversamente proporcional al dióxido de carbono y esto se debe a que mientras más se aumenten las revoluciones, más combustible es inyectado a la cámara de combustión, apareciendo el oxígeno en menor proporción como gas de escape y formando más CO₂. Además otra característica que se puede observar con el oxígeno es que para el aceite vegetal en todos los regímenes del motor aparece en mayores niveles a comparación del diesel; y en la prueba en ralentí vemos como decrecen las concentraciones de O₂ a partir de 7,5% a medida que aumentan las revoluciones, llegando hasta 2,9% de O₂, mientras que el diesel registra su punto más bajo en 2,05% de O₂.

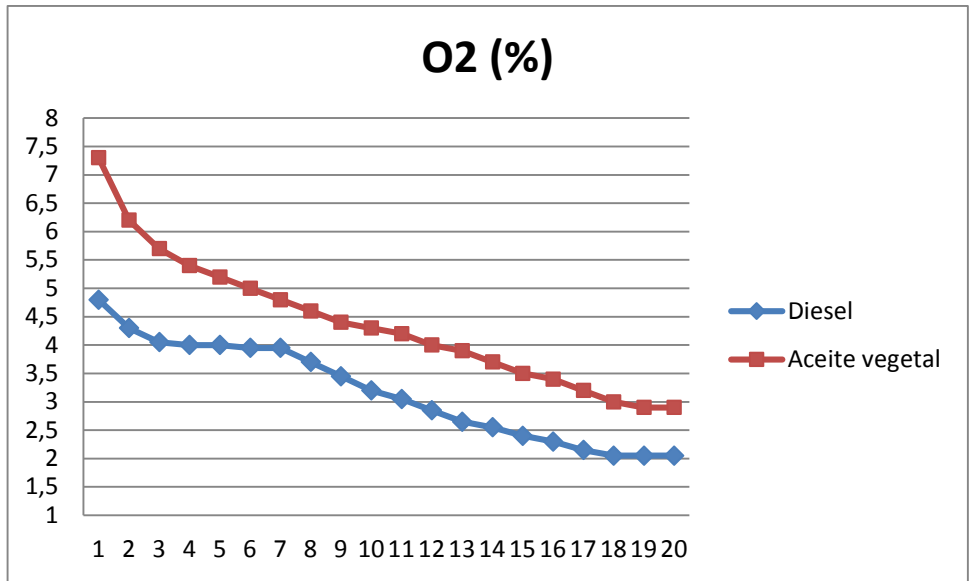


Gráfico 4.33. Resultante de los niveles de O₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí⁷⁰

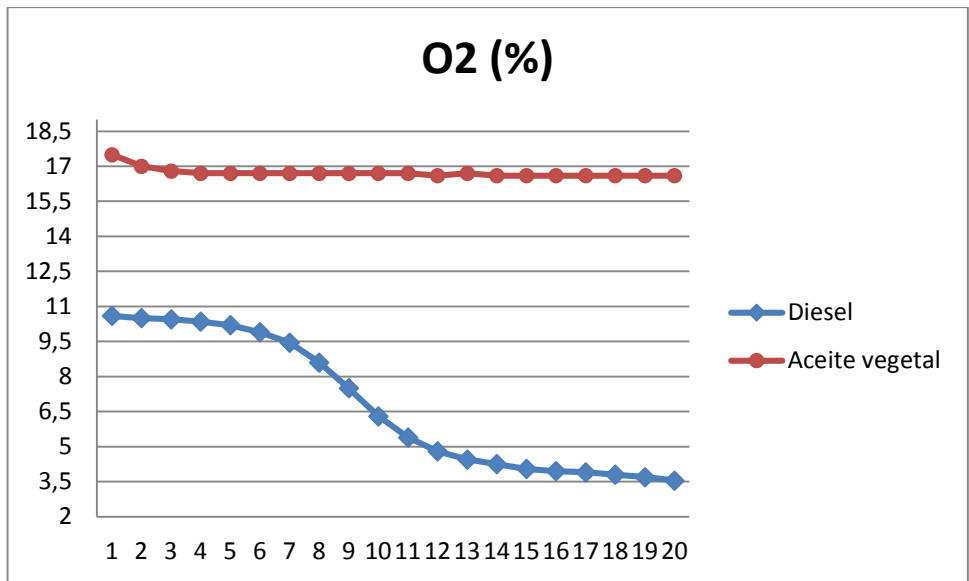


Gráfico 4.34. Resultante de los niveles de O₂ para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor⁷¹

La prueba con altas revoluciones del motor es donde se presentan las mayores concentraciones de aceite vegetal con un nivel de 17,5% de O₂ pero a través de toda la prueba

⁷⁰ Elaborado por Jorge Acosta

⁷¹ Elaborado por Jorge Acosta

estos niveles no presentan gran variación entre un punto a otro y se mantienen estables, en cambio para el combustible diesel se puede observar que los niveles de O₂ son mayores a los que presentaba en la anterior prueba pero muestra la misma tendencia a decrecer las concentraciones mientras se aumentan las revoluciones del motor, alcanzando un nivel bajo de 3,55% de O₂, evidenciando así que el diesel emana mas dióxido de carbono y menos oxígeno, haciéndolo más contaminante y consumiendo más combustible debido a que mientras más se esfuerce el motor se requiere inyectar mayor cantidad de diesel a la cámara de combustión.

4.3.6. Material particulado

En cuanto al material particulado, los niveles de aceite vegetal son más bajos que los niveles que presenta el diesel, y en la primera prueba con el motor en el régimen de ralentí, el diesel presenta en la gráfica una curva irregular mientras se aumentan las revoluciones presentando su nivel más bajo en 13,52 mg/m³ y seguido de este punto tienden a incrementarse las concentraciones de PM hasta alcanzar un valor máximo de 17,45 mg/m³.

Mientras que el aceite vegetal en la gráfica empieza en su punto más bajo (5,106 mg/m³) y tiende a incrementar las concentraciones llegando a su punto máximo en 9,887 mg/m³ para luego disminuir las concentraciones debido a que la temperatura y el régimen del motor influyen directamente en la generación de material particulado.

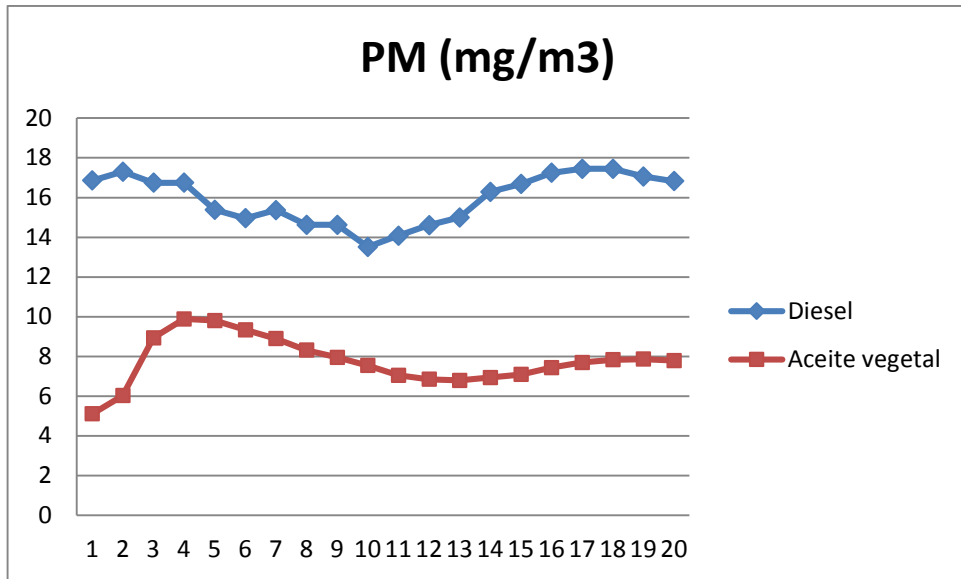


Gráfico 4.35. Resultante de los niveles de PM para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de ralentí⁷²

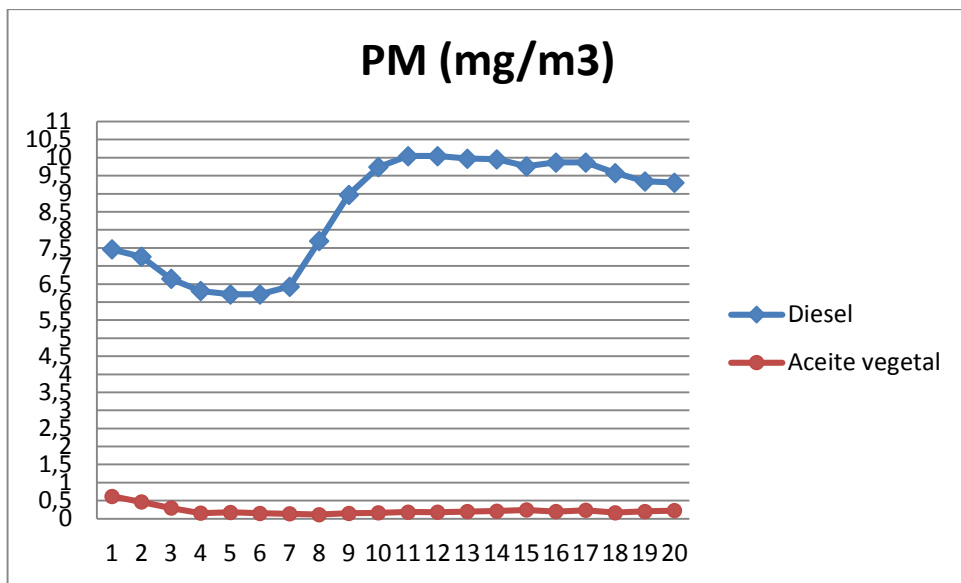


Gráfico 4.36. Resultante de los niveles de PM para el diesel y el aceite vegetal en la etapa de altas revoluciones del motor⁷³

Ahora para el régimen de altas revoluciones del motor se puede evidenciar que la diferencia en los niveles de concentración entre el diesel y el aceite vegetal es muy amplia, el

⁷² Elaborado por Jorge Acosta

⁷³ Elaborado por Jorge Acosta

combustible diesel tiende a incrementar las concentraciones de PM con el paso de las revoluciones pero sin llegar a superar los niveles presentados en el régimen de ralentí, en cambio el aceite vegetal presenta niveles menores a 1 mg/m^3 , sin mayor variación entre a un punto a otro por lo que en la grafica se presenta una línea recta, siendo este régimen el mas óptimo para la generación de bajas concentraciones de PM usando aceite vegetal como combustible, niveles tan bajos que la formación de otros compuestos contaminantes es mínima o nula, contaminando de significativamente menos que el diesel.

4.3.7. Azufre

Hay que destacar que la ausencia del azufre en el aceite vegetal es un gran beneficio para la eliminación total de algunos compuestos altamente contaminantes como el material particulado de sulfato y los óxidos de azufre y es por eso que actualmente se busca bajar el contenido de azufre en los combustibles fósiles ya que así se disminuye la fracción de SO_x de material particulado y por ende se disminuye la masa total de los PM emitidos al ambiente.

En resumen, cuando se usa el aceite vegetal como combustible se obtienen en general emisiones de gases contaminantes menores a comparación a cuando se usa el diesel como combustible, ayudando de esta manera a disminuir la contaminación ambiental, además se obtiene una mejoría en la disminución de niveles de emisiones cuando el motor se encuentra en el régimen de medias o altas revoluciones debido que ya para estos regímenes el motor ha alcanzado su temperatura optima de funcionamiento.

Pero esto es posible gracias a la conversión que se le realizo al motor diesel, ya que la composición y las condiciones en las que debe trabajar el aceite vegetal es diferente al diesel,

sin este cambio ciertos componentes del motor como la bomba de inyección, inyectores, etc. sufrirían graves daños con el tiempo.

Tabla 4.6. Cuadro comparativo de los gases contaminantes (NO_x y HC) emitidos por los 2 motores⁷⁴

		Óxido de Nitrógeno (NO_x)			Hidrocarburos no quemados (HC)		
Valor		Diesel	Aceite vegetal	Conclusión	Diesel	Aceite vegetal	Conclusión
Ralentí	Min.	224	248	Valores similares	19	9	Más eficiente aceite vegetal
	Max.	392	365		25	21	
Altas Rpm	Min.	450	308	Disminuye la contaminación	10	4	Más eficiente aceite vegetal
	Max.	501	300		28	0	

Tabla 4.7. Cuadro comparativo de los gases contaminantes (CO y CO₂) emitidos por los 2 motores⁷⁵

		Monóxido de Carbono (CO)			Dióxido de Carbono (CO₂)		
Valor		Diesel	Aceite vegetal	Conclusión	Diesel	Aceite vegetal	Conclusión
Ralentí	Min.	0,571	0,249	Disminuye la contaminación	11,25	10,85	Disminuye la contaminación
	Max.	0,367	0,226		12,87	12,51	
Altas Rpm	Min.	0,091	0,046	Disminuye la contaminación	7,27	3	Disminuye la contaminación
	Max.	0,169	0,027		11,86	3,14	

Tabla 4.8. Cuadro comparativo de los gases contaminantes (O₂ y PM) emitidos por los 2 motores⁷⁶

		Oxígeno (O₂)			Material Particulado (PM)		
Valor		Diesel	Aceite vegetal	Conclusión	Diesel	Aceite vegetal	Conclusión
Ralentí	Min.	4,8	7,3	Se mejora la combustión	16,859	5,106	Más eficiente aceite vegetal
	Max.	2,05	2,9		16,828	7,791	
Altas Rpm	Min.	10,6	17,5	Es más eficiente	7,46	0,62	Más eficiente aceite vegetal
	Max.	3,55	16,6		9,307	0,225	

⁷⁴ Elaborado por: Jorge Acosta

⁷⁵ Elaborado por: Jorge Acosta

⁷⁶ Elaborado por: Jorge Acosta

Pero como un punto negativo que se puede encontrar para el aceite vegetal es la potencia del motor; cuando se realizó las pruebas de conducción tanto como para el diesel como para el aceite vegetal no se encontró una diferencia aparente entre los dos combustibles, sin embargo el vehículo al ser analizado con el dinamómetro demuestra los siguientes datos:

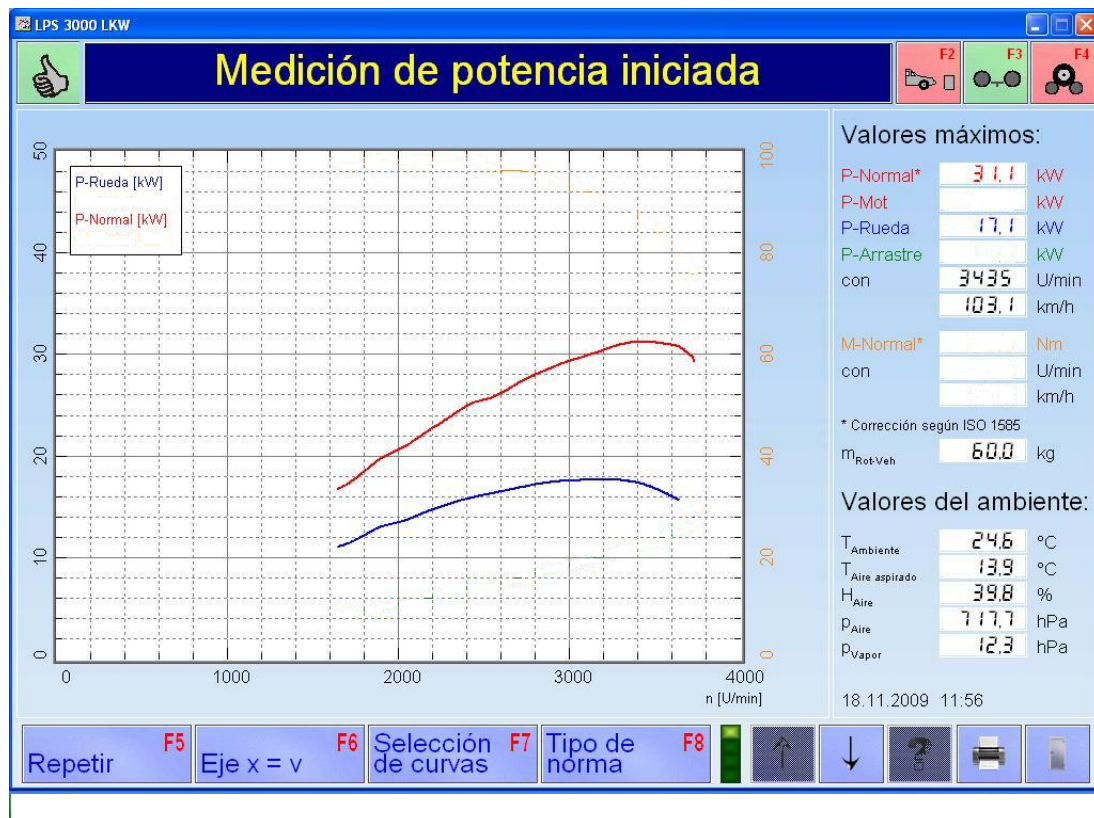


Gráfico 4.37. Medición de la potencia del motor con combustible diesel⁷⁷

Para esta medición se acelera el motor totalmente hasta llegar a un punto donde comiencen a disminuir las revoluciones. Las máximas revoluciones alcanzadas por el motor diesel son de 3435 rpm a una velocidad de 103,1 km/h con lo que se logra una potencia máxima de 31,1 kw/rpm.

Mientras que en el caso del aceite vegetal se observa que las revoluciones máximas del motor llegan hasta las 3120 rpm antes de comenzar a descender, con una velocidad de 104,9 km/h

⁷⁷ Elaborado por: Jorge Acosta

con lo que se produce una potencia máxima de 28,0 kw/rpm por lo que se existe una pérdida de potencia de 3,1 kw/rpm lo que se traduce en una disminución aproximada del 10% de potencia en el caso del aceite vegetal de canola.

Esto se debe por las diferentes propiedades químicas que posee cada combustible, teniendo como principal el poder calorífico, el diesel posee un poder calorífico de 43953 KJ/kg, mientras que el aceite vegetal de canola tiene 35000 KJ/kg, y como el poder calorífico es el contenido de energía del combustible que se libera cuando este es quemado en su totalidad para posteriormente ser transformado en fuerza motriz, la potencia para el caso del aceite vegetal se ve afectada y disminuye.

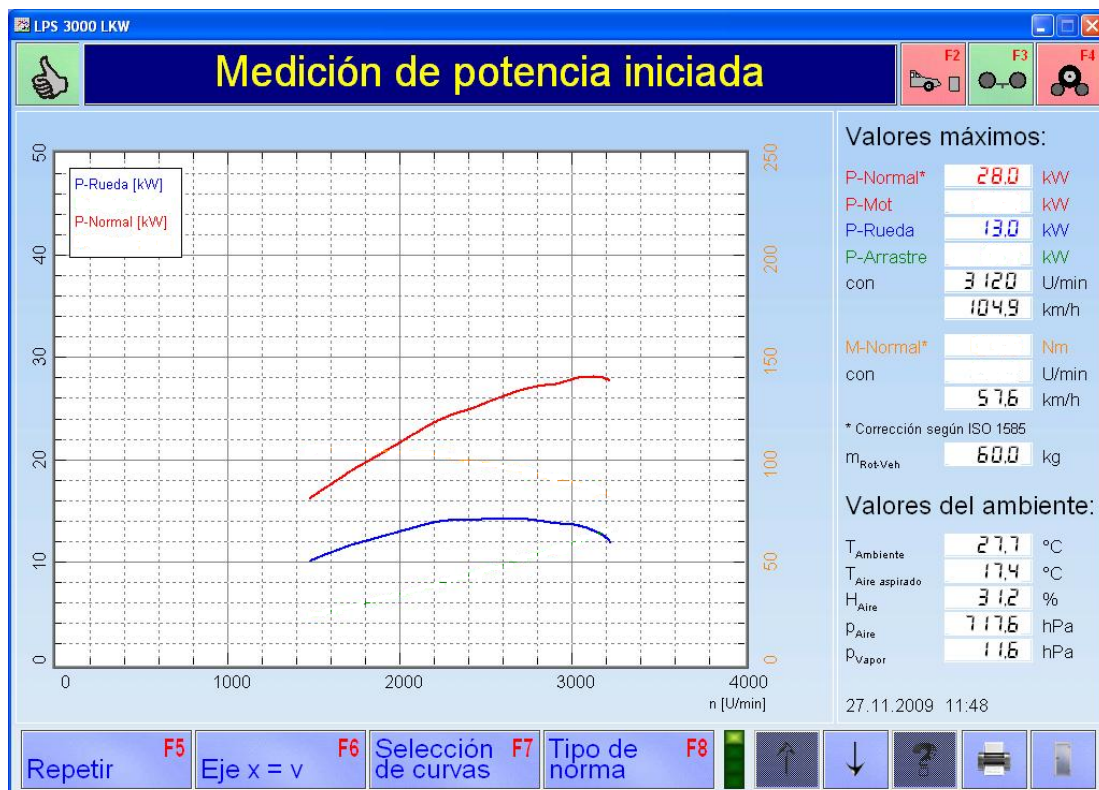


Gráfico 4.38. Medición de la potencia del motor con combustible aceite vegetal⁷⁸

⁷⁸ Elaborado por: Jorge Acosta

Otro factor importante a considerar en los gases de escape de los vehículos diesel es el porcentaje de opacidad que presenta, y la opacidad no es otra cosa que la capacidad que tienen las emisiones de gases a oponerse al paso de un haz de luz; factor fundamental que todo vehículo a diesel debe cumplir para poder circular en el Distrito Metropolitano de Quito. Actualmente el porcentaje máximo que puede tener un vehículo diesel para el año de fabricación 1985 es del 50%, y dentro de las pruebas de gases que se realizó al vehículo para nuestro estudio tanto para el diesel como para el aceite vegetal se tienen los siguientes resultados:

Para el diesel, la prueba de la opacidad consiste en 3 resultados que se los obtiene llevando al motor al máximo de sus revoluciones (100%), el segundo resultado al 90% de sus revoluciones máximas y el último resultado al 80% de las máximas revoluciones del motor. Esto se debe a que a las máximas revoluciones del motor es cuando más se pueden evidenciar el nivel de obscuridad de las emisiones por la mayor cantidad de combustible que se inyecta al motor obteniendo más cantidad de residuos contaminantes.

El valor que se obtiene en la prueba es el coeficiente de absorción (k), y para transformar al porcentaje de opacidad se utiliza la siguiente fórmula: $(1 - 2,718281^{(-0,43*k)}) * 100$ ⁷⁹; donde:

- 2,718281 es el valor de intensidad de onda que se utiliza para penetrar el medio.
- 0,43 es la longitud efectiva de la cámara.
- k el coeficiente de absorción que nos genera la prueba.

Entonces el primer valor de k obtenido con el motor a sus máximas revoluciones es de 1,47 que reemplazando en la fórmula da un porcentaje de opacidad del 47%. Con el motor al 90% de las máximas revoluciones se tiene un valor de k de 0,48 que equivale al 19% de

⁷⁹ Cálculo de la opacidad, CORPAIRE 2009

opacidad y el valor de k con el motor al 80% de las revoluciones es de 0,38 que transformado a opacidad nos da 15%.

Con estos 3 valores se puede concluir que el motor con combustible diesel a sus máximas revoluciones tienen un nivel alto de opacidad sin embargo pueden pasar la prueba al no superar el 50% límite permitido para poder circular en la ciudad de Quito pero cabe señalar que en altas revoluciones emitirá altos niveles de gases contaminantes, lo que sustenta el análisis de los gases que se vio anteriormente.

Para el aceite vegetal se obtuvo en la primera prueba al máximo de las revoluciones del motor un valor de k de 0,68 que equivale al 25% de la opacidad, el segundo valor de k al 90% de las revoluciones es de 0,53 que nos da un resultado del 20% de opacidad y para el último régimen al 80% de las rpm presenta un valor de k de 0,17 lo que representa un 7% de opacidad. Todos estos niveles se encuentran muy por debajo a comparación del combustible diesel, incluso a las máximas revoluciones del motor solo presenta un 25% de opacidad lo que es la mitad del límite permitido y niveles de gases contaminantes muy bajos, siendo amigables con el medio ambiente.

CAPITULO 5

EVALUACIÓN ECONOMICO FINANCIERA

5.1. ADQUISICION DE MATERIALES.

Los materiales indispensables para la realización del proyecto fueron todos los componentes que se implementaron en el motor diesel para que trabaje apropiadamente con aceite vegetal; todos estos componentes son especialmente diseñados para el tipo de motor que se utilizo y

por lo tanto no se pueden encontrar en el mercado nacional por lo que este kit de conversión se lo adquirió a una empresa alemana especializada en estas modificaciones a los motores.

El kit incluye un juego de toberas de los inyectores, un juego de bujías de precalentamiento, un filtro adicional de combustible, un calentador eléctrico para el filtro de combustible, una bomba manual de combustible, un switch de temperatura, un intercambiador de calor de combustible, cables eléctricos, relés y mangueras para agua y combustible. Adicionalmente para el correcto funcionamiento del motor con combustible diesel se reemplazo el filtro de aire y el filtro de combustible como también las bujías de precalentamiento, y es así como tenemos en el siguiente cuadro el costo de cada elemento:

Tabla 5.1. Costo de los materiales utilizados en el proyecto⁸⁰

MATERIALES PARA EL PROYECTO	VALOR
Kit de conversión	\$ 1.169,20
Costo de envío del kit	\$ 192,40
Filtro original de combustible	\$ 5,00
Filtro de aire	\$ 10,00
Juego de bujías	\$ 40,18
TOTAL	\$ 1.416,78

5.2. COSTOS DIRECTOS.

Dentro de los costos directos necesarios para la ejecución del proyecto tenemos el consumo del combustible diesel y del aceite de canola por parte del motor cuando se realizo todas las pruebas pertinentes, por lo que en ambos casos se consumió un total de 3 galones. El diesel se lo adquirió en una gasolinera de Petrocomercial a un costo de \$ 0,90 el galón, mientras que el aceite de canola se lo puede conseguir en la cadena de supermercados Supermaxi a un costo de \$ 2,47 el litro.

⁸⁰ Elaborado por: Jorge Acosta

Tabla 5.2. Costo de los combustibles utilizados para el proyecto⁸¹

COMBUSTIBLES UTILIZADOS PARA EL PROYECTO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Diesel (galón)	\$ 0,90	\$ 2,70
Aceite de Canola (litro)	\$ 2,47	\$ 29,64
TOTAL		\$ 32,34

5.2.1. Costo de producción del diesel

En el Ecuador la empresa encargada de la comercialización de los combustibles es PetroEcuador, y en el periodo de Enero a Diciembre del 2009 llego a tener un costo de producción de \$ 0,48 el galón de diesel. Este precio depende directamente del precio que tenga el barril de petróleo en el mercado pero hay que considerar que el precio de venta al público de los combustibles en nuestro país es subsidiado por el gobierno.

5.2.2. Costo de producción del aceite vegetal

Para el cálculo del costo de la producción del aceite de canola primero debemos considerar el rendimiento que tiene la semilla que es aproximadamente de 1800 kg/ha y el rinde del aceite es del 42% por lo que una hectárea produce alrededor de 700 litros de aceite de canola. Los gastos que son necesarios para el cultivo de la canola por hectárea como la mano de obra, fertilizantes, herbicidas, etc. lo que asciende a un valor aproximado de \$ 232 dólares, valor que es dividido para la cantidad de litros de aceite que se obtiene por hectárea, dándonos un costo aproximado de \$ 0,33 el litro de aceite de canola.

5.3. IMPREVISTOS.

⁸¹ Elaborado por: Jorge Acosta

Dentro de imprevistos se tuvo el gasto del arreglo de la bomba de inyección de combustible, la cual que por pedido del dueño del vehículo fue llevada para este trabajo a la empresa Auto Servicios Diesel Ecuatorianos ADECO, por un costo de \$ 118,62 dólares; además otro imprevisto que se presentó mientras se realizaban las primeras pruebas del motor diesel fue la compra de una nueva bomba de agua al presentarse un daño en la bomba original que venía con el vehículo lo que conllevó a un gasto de \$ 115 dólares y un retraso de tres por ser un repuesto que no se encuentra fácilmente en el mercado.

5.4. FINANCIAMIENTO.

Es la fuente de los fondos necesarios que se utilizaron a lo largo del proyecto para su total realización; todo lo adquirido para el proyecto fueron fondos propios, no se recurrió a ninguna entidad bancaria ni a préstamos de terceras personas.

5.5. CRONOGRAMA DE DESEMBOLSOS DEL PROYECTO.

Gráfico 4.39. Cronograma de desembolsos del proyecto⁸²

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES.

⁸² Elaborado por: Jorge Acosta

Con todos los datos obtenidos del motor utilizando tanto diesel como aceite vegetal como combustible se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- En primer lugar cabe volver a señalar que la tecnología de conversión es necesaria para compensar las características especiales del aceite vegetal, principalmente hay que calentar el aceite para que los inyectores puedan pulverizarlo óptimamente, de lo contrario el aceite vegetal no arde bien y forma depósitos en los inyectores y en los cilindros del motor, aumentando las emisiones contaminantes, perjudicando el rendimiento y acortando la vida del motor.
- Cuando se utiliza aceite vegetal de canola como combustible, la potencia del motor disminuye aproximadamente en un 10% y esto se debe por las diferentes propiedades químicas que posee cada combustible, en este caso es el poder calorífico que tiene el aceite de canola el causante de la leve disminución de potencia.
- Por la parte ambiental, utilizar aceite vegetal como combustible ayuda considerablemente a reducir los gases contaminantes emanados por el motor a la atmosfera, dado que el aceite vegetal se encuentra libre de metales pesados, no contiene azufre y tiene en comparación a la combustión diesel, una considerable disminución de expulsión de humos negros.
- Además, si bien se pudo evidenciar en este proyecto la disminución en todos los gases contaminantes cuando se utiliza aceite de canola como combustible, cabe señalar que se puede todavía lograr aun más la reducción de estos contaminantes si se utilizaran sistemas auxiliares como una válvula de recirculación de gases (EGR), un sistema electrónico de control que gobierne principalmente la inyección del combustible o un catalizador de NO_x, etc.

- En cuanto a la parte económica del proyecto, el costo del kit de conversión y la importación del mismo resulta elevada y no termina de convencer a la gente del medio de nuestro país. Además el alto costo del aceite de canola en el mercado lo hace menos viable para su utilización a gran escala en el sector de transporte pesado ya que lo que se busca es disminuir costos y no incrementarlos.
- En nuestro país, el utilizar aceite vegetal de canola como reemplazo del combustible diesel no es absolutamente viable debido a que los cultivos existentes no abastecerían con toda la demanda de vehículos de ciclo diesel e incluso si se intentara incrementar a gran escala los campos para cosechar canola solo se conseguiría aumentar el impacto ambiental causado por la deforestación que se provocaría.
- La generación de este proyecto como un futuro negocio que pueda ser rentable no es actualmente sustentable debido a los altos costos que representa, empezando por la importación de los kit de conversión, segundo por el alto precio que tiene el aceite de canola en nuestro mercado y tercero por la falta de aceptación de los consumidores por el alto costo que les representaría la instalación y la utilización de este tipo de sistema en sus vehículos diesel.

6.2. RECOMENDACIONES.

- Uno de los puntos principales que se debería tratar en nuestro país es la reducción del azufre en el combustible diesel, alcanzando de esta manera una reducción significativa en agentes contaminantes para la atmosfera y para el ser humano, y además permitiría el uso de nuevas tecnologías aplicadas en vehículos nuevos sin causar ningún daño grave al mismo.
- Además, el desarrollo de una mejor tecnología vehicular puede significar resultados de gran valor para mejorar la calidad del aire que respiramos, esto significa no solo utilizar

la tecnología disponible en los vehículos que lo necesitan, sino incentivar a todas las personas a su uso y también a universidades e institutos la búsqueda por nuevos diseños, tecnologías o programas que ayuden a la disminución de la contaminación ambiental causada por los automóviles.

- El presente proyecto puede servir de base para generar un estudio a profundidad sobre el uso del aceite vegetal de canola como combustible para el sector agrícola de manera sostenible y lucrativa, ya que estas personas con sus propios terrenos podrían generar el aceite para sus tractores, y al ser rentable crecer de una manera que pueda generar plazas de trabajo para personas propias del lugar y activar económicamente al sector agrícola al mismo tiempo.

BIBLIOGRAFIA:

- Manual de Servicio DAIHATSU F70, F75, F77, Mecánica del Motor, Daihatsu Motor CO., LTD.
- Técnicas del Automóvil – Sistemas de Inyección de Combustible en los Motores Diesel, José Manuel Alonso Pérez, Editorial: Paraninfo , S.A. 2001.
- Estudio de la Combustión en Motores Diesel, Wearcheck Ibérica, J. Ignacio Ciria, 2003.
- Motores Diesel, Autores Varios, Editorial: Blume.
- Fundamentos de Transferencia de Calor, Frank P. Incropera, David P. De Witt, Editorial: Pearson.
- GTZ, Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, Tecnología del Automóvil, Tomo 2, Editorial Edibosco, Cuenca-Ecuador, 1980.
- Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente, Libro VI, Anexo 4 del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (Ministerio del Ambiente, 2003)

- Manual y guía de Políticas, Iniciativa del Aire Limpio en América Latina 2003.
- Requerimientos para la Técnica del Aceite Vegetal, ELSBETT Tecnología GmbH disponible en: <http://www.elsbett.com/es/tecnologia-de-modificacion-elsbett/fundamentos.html>
- INDICE DE LA CALIDAD DEL AIRE (IQCA), CORPAIRE 2009, disponible en: http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp
- LOS CONTAMINANTES COMUNES DEL AIRE Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD HUMANA, CORPAIRE 2009, disponible en: http://www.corpaire.org/siteCorpaire/rma_main.jsp
- Calidad de los Combustibles en el Ecuador, PetroComercial 2010, disponible en: http://www.petrocomercial.com/wps/portal/TRANS_CALIDAD
- Propiedades del Aceite de Canola, Quality Standard for Rapeseed Oil as a Fuel, ELSBETT Tecnología GmbH 05/2000.

ANEXOS

ANEXO 1 (CERTIFICACIÓN CORPAIRE)



**CORPORACION MUNICIPAL PARA EL
MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO**

Quito, 10 de noviembre de 2009 "Año del Bicentenario"
CA-0847.09

Señor
Jorge Acosta
ESTUDIANTE UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR
Presente

De mi consideración:

En respuesta a su petición escrita enviada con fecha 09 de noviembre del presente, para realizar pruebas como parte del proyecto de titulación: "Estudio del impacto ambiental causado por un motor de combustión interna a diesel a base de aceite vegetal" me permito informarle que existe total disponibilidad para ejecutar los ensayos solicitados. Sin embargo es necesario que su solicitud escrita tenga el aval de la Universidad en la que usted estudia, por esta razón requerimos que se oficialice la petición con un documento membretado por la Universidad Internacional del Ecuador.

Las pruebas a efectuarse consistirían en la medición de la opacidad durante un ciclo dinámico, es decir, se monta al vehículo sobre un dinamómetro y en función de la potencia al 100%, 90% y 80% se reflejan los valores de opacidad. Por tal motivo previo a la ejecución de las pruebas necesitamos se nos detalle las características técnicas y datos básicos del vehículo de pruebas que se utilizaría, el mismo que como único requisito, debe tener neumáticos con tamaño de aro R13 como mínimo (si es superior mucho mejor).

Atentamente,

Luz Marina Rumazo
Liquidadora CORPAIRE

Av. Amazonas N33-299 e Inglaterra
PBX: (593-2) 225 4151
Casilla Postal 17-11-6366
corpaire@corpaire.org
www.corpaire.org
QUITO - ECUADOR

ANEXO 2 (CUADRO DEL FABRICANTE DEL MOTOR DAIHATSU)

ENGINE MAIN SPECIFICATIONS

Engine Type		DL-42	DL-52
Item			
Cylinder capacity	cm ³	2765	
Kind		Diesel, 4 cycle	
Cylinder number and arrangement		4 cylinder-in-line, mounted longitudinally	
Combustion chamber type		Swirl chamber type	
Valve mechanism		Belt Drive OHV	
Bore x Stroke	mm	92 x 104	
Compression ratio		21.2	
Compression pressure kPa (kgf/cm ²)/rpm	STD	3150 (32)/250 <i>31 Bar</i>	
	Minimum	2150 (22)/250 <i>21 Bar</i>	
	Difference between cylinders	490 (5)/250	
Maximum Power	kW/rpm	SAE net	56/3800
		DIN	54/3800
Maximum Torque	Nm/rpm	SAE net	170/2200
		DIN	170/2200
Engine dimensions (Length x width x height)	mm	763 x 548 x 696	763 x 611 x 724
Service engine weight	kg	236	250
Value Timing	Intake	Open	25° BTDC
		Close	55° ABDC
	Exhaust	Open	60° BBDC
		Close	20° ATDC
Value clearance	Intake	mm	0.25 ± 0.05
	Exhaust	mm	0.25 ± 0.05 0.35 ± 0.05
Idle speed	rpm	650 ± 25	
Firing order		1 - 3 - 4 - 2	
Injection Timing		1° BTDC (High altitude speed: 3°)	1° BTDC
Coolant capacity (with reserve tank)	dm ³	10.6	
Oil capacity	dm ³	6.4	

WRE91-EM360