



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES MEC  
CON BIODIÉSEL A BASE DE PIÑÓN**

**AUTOR: ANDRÉS ANÍBAL CHÁVEZ ENDARA**

**DIRECTOR: ING. IGNACIO BAYARDO BENAVIDES CEVALLOS. MSc**

**Ibarra, mayo 2019**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “MEDICIÓN DE GASES DE ESCAPE EN MOTORES MEC CON BIODIÉSEL A BASE DE PIÑON” presentado por el señor: ANDRÉS ANÍBAL CHÁVEZ ENDARA con número de cédula 0401401500, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 15 días del mes de mayo del 2019

Atentamente



Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc  
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	040140150-0		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Chávez Endara Andrés Aníbal		
<b>DIRECCIÓN:</b>	Av. 17 de julio Conjunto solar del río		
<b>EMAIL:</b>	aachaveze@utn.edu.ec		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	062251047	<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0961127000

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Medición de gases de escape en motores MEC con biodiésel a base de piñón
<b>AUTOR (ES):</b>	Chávez Endara Andrés Aníbal
<b>FECHA: DD/MM/AAAA</b>	15/05/2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	Ingeniería en Mantenimiento Automotriz
<b>ASESOR /DIRECTOR:</b>	ING. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos. MSc

#### 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de mayo del 2019

**EL AUTOR:**

Andrés Aníbal Chávez Endara

## **AGRADECIMIENTO**

De manera muy especial agradezco a mis padres que me han servido de fuente inspiración y sabiduría.

A los compañeros de la universidad técnica del norte, por haber compartido toda clases de experiencias malas y buenas que enriquecieron mi vida.

A la Universidad Técnica del Norte, por haberme abierto las puertas y acogido de una manera muy cálida.

Al Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos. MCs director del proyecto, quién con su paciencia y sabiduría me ayudo a culminar este trabajo con éxito.

A mi familia, a mi hija y a mi compañera de vida Stefania Bolaños, por haberme apoyada de una manera incondicional, lo que hizo posible alcanzar las metas y anhelos propuestos por mi persona.

Andrés Chávez E.

## DEDICATORIA

El presente trabajo es dedicado a mis padres, fuente de apoyo incondicional en todo momento y de todas las formas posibles, como también por inculcarme valores y principios de vida durante todo el transcurso de mi existencia, y que gracias a esto me ha permitido ser una persona de bien cada uno de mis días.

A mis hermanos y hermanas, por ser pilar fundamental durante toda mi vida y quienes han compartido momentos de alegría y tristeza, que ha servido para el crecimiento de mi ser y mi espíritu.

Andrés Chávez E.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS	1
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	1
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	1
1.3. ANTECEDENTES	2
1.4. MARCO TEÓRICO	3
1.4.1. MOTOR TÉRMICO DE COMBUSTIÓN INTERNA	3
1.4.2. MOTOR DIÉSEL	4
1.4.2.1. Definición	4
1.4.3. CICLO TEÓRICO DE FUNCIONAMIENTO	4
1.4.3.1. Admisión	4
1.4.3.2. Compresión	5
1.4.3.3. Combustión	6
1.4.3.4. Escape	7
1.4.4. COMBUSTIÓN EN EL MOTOR DIÉSEL	8
1.4.5. MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS CRDI	9
1.4.5.1. Sensores principales	10
1.4.5.2. Sensores secundarios	11
1.4.6. ACTUADORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS	11
1.4.6.1. Bomba de Inyección	12
1.4.6.2. Inyectores electrónicos	14
a) Estructura del Inyector Bobinado	14
1.4.6.3. Inyectores Piezoeléctricos	16
a) Comienzo de la inyección	17

1.4.7. COMBUSTIBLES	19
1.4.7.1. Clasificación de los combustibles	19
1.4.8. COMBUSTIBLE DIÉSEL	20
1.4.8.1. Serie Parafínica ( $C_nH_{2n+2}$ )	20
1.4.8.2. Serie Nafténica ( $C_nH_{2n}$ )	21
1.4.8.3. Serie Aromática ( $C_nH_{2n-6}$ )	21
1.4.8.4. El combustible diésel en el Ecuador	21
a) Propiedades del combustible diésel Premium	21
1.4.8.5. Relación de las propiedades del combustible diésel a la composición y rendimiento	21
1.4.9. EMISIÓN DE AEROSOLES DE PARTÍCULAS Y GASES POR LA COMBUSTIÓN DIÉSEL	22
1.4.9.1. Monóxido de Carbono (CO)	23
1.4.9.2. Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ )	23
1.4.9.3. Hidrocarburos sin quemar (HC)	24
1.4.9.4. Las partículas de hollín PM	24
1.4.9.5. Opacidad	24
1.4.10. IMPACTO DE LOS GASES DE ESCAPE EN LA SALUD	24
1.4.11. BIOCMBUSTIBLES	25
1.4.11.1. Biomasa	26
1.4.11.2. Proceso de obtención de biocombustibles	27
1.4.12. TRANSESTERIFICACIÓN	27
1.4.13. BIODIÉSEL	28
1.4.14. JATROPHA CURCAS	30
1.4.14.1. Definición	30
1.4.14.2. Proceso de la extracción de aceite de Jatropha Curcas	31
1.4.14.3. Propiedades fisicoquímicas del aceite	32

<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>33</b>
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA	33
2.2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA	33
2.2.1. OPACÍMETRO BRAIN BEE OPA-100	33
2.2.1.1. Características técnicas del opacímetro Brain Bee OPA-100	34
2.2.1.2. Procedimiento de las mediciones de opacidad	35
2.2.2. VEHÍCULO DE PRUEBA	37
2.2.2.1. Características	37
2.2.3. DIÉSEL PREMIUM	38
2.2.3.1. Características	38
2.2.4. BIODIÉSEL EXTRAÍDO DEL PIÑÓN	38
2.2.4.1. Proceso de transesterificación del aceite de jatropha curcas	38
2.2.5. MEDICIÓN DE OPACIDAD CON BIODIÉSEL B5	43
2.2.5.1. Diagnóstico del vehículo	43
2.2.5.2. Instalación de equipos	43
2.2.6. MEDICIÓN DE LA OPACIDAD CON BIODIÉSEL B5 A BASE DE PIÑÓN	44
2.2.6.1. Medición de consumo	45
2.2.7. MEDICIÓN DE OPACIDAD CON DIÉSEL PREMIUM	46
2.2.7.1. Medición de la opacidad	46
2.2.7.2. Medición de consumo	47
2.2.8. VÁLVULA DE CONTROL DE SUCCIÓN SCV	48
2.2.8.1. Funcionamiento y partes de la válvula SCV	49
2.2.8.2. Medición de la válvula SCV en el vehículo de prueba	50
2.2.9. VÁLVULA IPR	51
2.2.9.1. Funcionamiento partes de la válvula IPR	51
2.2.9.2. Medición de la válvula IPR en el vehículo de prueba	52

<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>54</b>
3.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL Y DIÉSEL PREMIUM	54
3.2. ANÁLISIS ENTRE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD	56
3.3. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE LA DURACIÓN DE INYECCIÓN	57
3.4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VÁLVULAS SCV e IPR	59
3.4.1. Válvula SCV	59
3.4.2. Válvula IPR	60
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>62</b>
4.1. CONCLUSIONES	62
4.2. RECOMENDACIONES	63
<b>5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>64</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>68</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1.1 Ciclo de admisión en el motor Diesel	5
Figura 1.2 Ciclo de compresión en el motor Diesel	6
Figura 1.3 Ciclo de combustión en el motor Diesel	7
Figura 1.4 Ciclo de escape en el motor Diesel	8
Figura 1.5 Sistema Common Rail	10
Figura 1.6 Elementos del sistema Common Rail	12
Figura 1.7 Bomba de alta presión con sus partes	14
Figura 1.8 Inyector electrónico	15
Figura 1.9 Inyector piezoeléctrico	16
Figura 1.10 Inyector piezoeléctrico cerrado	17
Figura 1.11 Inyector piezoeléctrico abierto	18
Figura 1.12 Fin de la inyección	19
Figura 2.1 Opacímetro Brain Bee OPA-100	33
Figura 2.2 Opacímetro Brain Bee OPA-100 conectado y listo para realizar mediciones de opacidad al vehículo Amarak	34
Figura 2.3 Interfaz para ingresar medición de opacidad	36
Figura 2.4 Interfaz para iniciar medición de humos	36
Figura 2.5 Interfaz test continuo medición de humos	37
Figura 2.6 Obtención del metóxido	39
Figura 2.7 Medición de PH al metóxido	40
Figura 2.8 Finalización del proceso de esterificación en el reactor	40
Figura 2.9 Biodiésel reposado en el que se observa dos fases	41
Figura 2.10 Lavado del biodiesel a base de piñón	42
Figura 2.11 Biodiésel a base de piñón y diésel premium	42
Figura 2.12 Diagrama de los promedios de las cuatro pruebas de opacidad utilizando biodiésel B5 a base de piñón	45
Figura 2.13 Diagrama de los promedios de las cuatro pruebas de opacidad utilizando diésel premium	47
Figura 2.14 Ubicación de la válvula SCB en el vehículo Volkswagen Amarak	48
Figura 2.15 Válvula SCV y sus partes	49
Figura 2.16 Forma de onda Válvula SCV normalmente abierta	50

Figura 2.17 Curvas generadas por la válvula SCV a 4 diferentes regímenes	50
Figura 2.18 Ubicación de la válvula IPR en el vehículo Volkswagen Amarok	51
Figura 2.19 Válvula IPR con sus principales partes	52
Figura 2.20 Curvas generadas por la válvula IPR a 4 diferentes regímenes	53
Figura 3.1 Diagrama comparativo entre los promedios de opacidad utilizando biodiésel B5 y diésel premium	57
Figura 3.2 Diagrama comparativo entre los promedios de la duración de inyección utilizando biodiésel B5 y diésel premium	58
Figura 3.3 Diagrama comparativo entre los promedios de la duración de inyección utilizando biodiésel B5 y diésel premium	59
Figura 3.4 Gráfica de las curvas emitidas por la válvula SCV a diferentes regímenes	60
Figura 3.5 Gráfica de las curvas emitidas por la válvula SCV a diferentes regímenes	61

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1.1 Sensores principales del sistema de inyección Diésel	10
Tabla 1.2 Sensores secundarios del sistema de inyección Diésel	11
Tabla 1.3 Actuadores principales y secundarios en el sistema de inyección Diésel	11
Tabla 1.4 Generación de bombas Common Rail	13
Tabla 1.5 Clasificación de los combustibles	20
Tabla 1.6 Relación de las propiedades del combustible diésel con la composición y rendimiento	22
Tabla 1.7 Impacto de los gases de escape en la salud	25
Tabla 1.8 Características de los biocombustibles	25
Tabla 1.9 Orígenes y clasificación de la biomasa	26
Tabla 1.10 Propiedades fisicoquímicas del biodiésel	29
Tabla 1.11 Características de la semilla de Jatropha Curcas	30
Tabla 1.12 Propiedades fisicoquímicas del aceite de Jatropha Curcas	32
Tabla 2.1 Características técnicas Opacímetro Brain Bee OPA-100	35
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del motor de camioneta Volkswagen Amarok 2014	37
Tabla 2.3 Requisitos del combustible diésel premium comercializado en Ecuador	38
Tabla 2.4 Caracterización del biodiésel B5 a base de piñón	43
Tabla 2.5 Resultados de las pruebas de opacidad usando biodiésel B5 a base de Piñón	44
Tabla 2.6 Duración de la inyección en los inyectores 1,2,3 y 4 usando biodiésel B5	46
Tabla 2.7 Resultados de las pruebas de opacidad usando diésel premium	47
Tabla 2.8 Duración de la inyección en los inyectores 1,2,3 y 4 usando diésel premium	48
Tabla 3.1 Comparación de valores de propiedades fisicoquímicas entre biodiésel B5 a base de piñón, diésel 2 y diésel premium	54
Tabla 3.2 Valores promedio de opacidad de biodiésel B5 a base de piñón y diésel premium	56

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>PÁGINA</b>
[1.1]Reacción para la formación de monóxido decarbono	23
[1.2]Ecuación de reacción de tranesterificación etanólica	28

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
ANEXO I: Datos de la realización de 4 pruebas de Opacidad usando Biodiésel B5 a base de piñón en diferentes regímenes a ralenti, 1500, 2000 y 2500 rpm	68
ANEXO II: Datos de la realización de 4 pruebas de Opacidad usando diésel premium a diferentes regímenes a ralenti, 1500, 2000 y 2500 rpm	70
ANEXO III: Datos de 4 pruebas de escaneado usando biodiésel B5 a base de piñón a diferentes regímenes a ralenti, 1500, 2000 y 2500 rpm	72
ANEXO IV: Datos de 4 pruebas de escaneado usando diésel premium a diferentes regímenes a ralenti, 1500, 2000 y 2500 rpm	74
ANEXO V: Tabla de valores de requisitos de propiedades para diésel premium según INEN	76
ANEXO VI: Caracterización del biodiésel a base de piñón mezcla B5	77

## RESUMEN

El presente trabajo de grado trata el estudio comparativo de pruebas de opacidad realizadas en una camioneta Volkswagen Amarok utilizando en primera instancia biodiésel B5 a base de *Jatropha Curcas* (piñón) y posteriormente diésel premium comercializado en el Ecuador, esto se realiza con el propósito de corroborar que al utilizar biocombustibles se disminuye las emisiones de hollín al medio ambiente. Para cumplir los objetivos se realizó el proceso de transesterificación etanólica al aceite crudo de piñón utilizando un reactor de 2 litros de capacidad, luego se realiza la mezcla en volumen de 5 % de biodiésel y 95 % de diésel fósil obtenido así biodiésel B5. Posteriormente se procedió a diagnosticar el motor de la camioneta y una vez que se ha comprobado que se encuentra funcionando de manera óptima se procede a conectar los equipos de medición de opacidad debidamente calibrados y se realiza cuatro pruebas de opacidad a distintos regímenes del motor en ralentí a 1500, 2000 y 2500 revoluciones por minuto, a la vez se conecta el scanner a la ECU del vehículo para determinar el consumo de combustible con el dato de la duración de inyección del inyector. Una vez finalizado las pruebas y tabulados los valores se obtuvo que en promedio al utilizar biodiésel B5 se tiene una opacidad de 4,8 % y con diésel fósil 5,23 % reduciendo aproximadamente un 8% las emisiones de hollín al medio ambiente, respecto al consumo aumenta en un 3,4% cuando se utiliza biodiésel B5 en relación cuando se usa diésel premium; todas la pruebas y procesos se realizaron dentro de la normativa NTE INEN 2 207:2002, de esta manera se ayuda a mitigar la emisión de gases contaminantes al medio ambiente como también disminuyendo el efecto invernadero en el planeta y consecuentemente a disminuir las afecciones tanto en el sistema respiratorio como enfermedades de corazón.

## ABSTRACT

This degree work is the comparative study of opacity tests carried out on a pickup truck Volkswagen Amarok using primarily biodiesel B5 based *Jatropha Curcas* (pinion) and later diesel marketed premium in Ecuador, this is done in order to corroborate that using biofuels reduces emissions of soot to the environment. To accomplish the objectives of the project first was the process of Transesterification in ethanol to pinion crude oil using a reactor of 2 litres capacity, then mixing takes place in volume of 5% of biodiesel and fossil diesel obtained thus 95% Biodiesel B5. Subsequently the engine of the truck is diagnose and once it has been found that it is running optimally it is properly connected the calibrated measurement of opacity and four tests of opacity to different regimes of the engine idling to 1500, 2000 and 2500 revolutions per minute, at the same time the scanner is connected to the ECU of the vehicle to determine the fuel consumption with the data on the duration of injection nozzle. Once the testing and tabulated values are finished was obtained on average to use B5 biodiesel has an opacity of 4.8% and with fossil diesel 5.23% reducing soot emissions about 8% to the environment, with respect to the consumption increases by 3.4% when B5 biodiesel is used in connection when premium diesel is used; all the tests and processes were performed within the rules NTE INEN 2 207:2002, this helping to mitigate the emission of pollutant gases to the environment as well as decreasing the greenhouse effect on the planet and consequently a decrease troubles them both into the respiratory system such as heart disease.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como principal objetivo el análisis experimental de las emisiones de partículas de un motor Diésel con combustible extraído de la *Jatropha curcas*, obteniendo de esta manera información acerca de la utilización de biodiésel a base de piñón que permita mejorar los problemas relacionados con la contaminación al medio ambiente.

En la actualidad no se tiene mucha información acerca de la reducción de contaminación con la utilización de biodiésel a base de piñón en motores MEC, lo que limita que se desarrollen proyectos para la utilización de biocombustibles.

El análisis se lo desarrolló empleando un opacímetro y un motor de marca Volkswagen modelo Amarok, ambos de la carrera de Mantenimiento Automotriz, los cuales estarán calibrados y funcionando de manera óptima.

En primer lugar, se da a conocer el contexto del problema, en el cual consta el objetivo general y los objetivos específicos, la justificación, antecedentes y el marco teórico.

En segundo lugar, la investigación se enfoca a la metodología utilizada para poder desarrollar la investigación, es decir métodos y técnicas aplicadas para el desenvolvimiento del proyecto y así poder alcanzar los objetivos planteados, también se realiza las diferentes pruebas con el opacímetro tanto con diésel Premium como con biodiésel B5 a base de piñón en las mismas condiciones de funcionamiento y rendimiento del motor.

Seguido se muestra los resultados de las pruebas realizadas tanto en valores como en gráficas realizando un análisis acerca de los promedios obtenidos.

Por último, en el capítulo cuatro se presentan las conclusiones y recomendaciones producto del trabajo realizado, y al final del documento se incluye la bibliografía y anexos utilizados en la investigación.

# 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar experimentalmente las emisiones de partículas con combustible extraído de la semilla de jatropha curcas en una camioneta Volkswagen Amarok de la carrera de Mantenimiento Automotriz de la UTN.

### 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las bases bibliográficas referentes a emisiones de partículas en motores a compresión.
- Poner a punto el funcionamiento del motor Volkswagen Amarok en el cual se realizará las pruebas de opacidad.
- Realizar mediciones de consumo de combustible diésel, como también con biodiésel mezcla B5 extraído de jatropha curcas en la camioneta Volkswagen Amarok.
- Recolectar y comparar datos emitidos por el opacímetro, utilizando primero combustible diésel y luego biodiésel con una mezcla B5.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo de investigación se enfocó principalmente en analizar la opacidad de las emisiones que produce el motor a compresión del vehículo Volkswagen Amarok utilizando diésel premium y biodiésel a base de jatropha curcas en mezcla B5, ya que debido al alto índice de contaminación del ambiente por automotores que funcionan con combustible fósil, es necesario tener certeza de que al utilizar biodiésel se disminuye las emisiones de partículas contaminantes al medio ambiente.

El aceite de semilla de jatropha curcas al no ser comestible y tóxico tiene una buena aceptación como un tipo de biocombustible ya que no afecta a la materia prima comestible de los seres humanos.

En la presente investigación se obtuvo datos medidos con un opacímetro, en una primera parte para un motor medido funcionando con diésel premium y luego al ser medido el mismo motor consumiendo biodiésel a base jatropha curcas.

En el transcurso del procedimiento de medición se debió de tomar en cuenta todos los parámetros necesarios para que los datos en ambos casos estén en las mismas condiciones como, por ejemplo, temperaturas, presiones ya que tomando este tipo de precauciones los datos obtenidos fueron precisos y reales.

Se han realizado trabajos relacionados con análisis de emisiones de partículas con biodiésel a base de otros vegetales en los cuales se ha observado que se disminuye la contaminación.

### **1.3. ANTECEDENTES**

A principios de los años sesenta y durante los setenta, los vehículos fueron uno de los principales causantes por la contaminación del aire y la problemática del medio ambiente, en los noventa los fabricantes automotrices diseñan nuevas generaciones de motores y sistemas de alimentación de combustible con lo cual se enfocan en los problemas de emisiones, ahorro de combustible, potencia y funcionamiento. (McMichael, 2000, pág. 1117)

El parque automotor es uno de los principales emisores de gases contaminantes, el problema proviene de la calidad de combustión que se genera en el motor, según esto se analiza desde tres aspectos: tipo y calidad de combustible, sistemas de alimentación de combustible y condiciones de utilización de los vehículos. (Basté Gonzáles, 2013, pág. 65)

La combustión en los motores diésel produce la descarga de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) un gas relativamente inofensivo pero responsable del cambio climático, también se libera monóxido de carbono (CO) considerado como una sustancia nociva o toxica, dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) causante de lluvias ácidas, hidrocarburos aromáticos (HC) que son cancerígenos y que junto a los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y partículas sólidas forman compuestos orgánicos volátiles promotores del smog, que a través de los escapes o tuberías de los vehículos son liberados al medio. (Basté Gonzáles, 2013, pág. 68)

Las partículas y gases que desprenden los escapes de motores a compresión son de naturaleza tóxica y también están presentes sustancias examinadas como cancerígenas. El tamaño de las partículas de carbón tiene un diámetro inferior a  $0,1 \mu\text{m}$  que adsorben en su superficie otros hidrocarburos (HC) que forman parte de los líquidos condensados e incluso sulfatos por el contenido de azufre (S) del combustible, las partículas de carbón por tener diámetros pequeños son ultrafinas y respirables. La Organización Mundial de la Salud (OMS), ha clasificado en el año 2012 al escape de los motores de combustible diésel como cancerígeno para los humanos, basándose en una prueba suficiente de que la exposición está ligada a un aumento de riesgo de adquirir cáncer de pulmón. (Alonso M. B., 2013, pág. 14).

En la búsqueda por mitigar las emisiones producidas por el motor a compresión, se ha optado por la sustitución de los combustibles fósiles o derivados del petróleo a la utilización de un combustible derivado de aceites vegetales o grasas animales que tienen características similares a las del diésel proveniente del petróleo, dentro de las variedades de aceites vegetales idóneos para elaborar biodiésel está el que se lo extrae de la *Jatropha Curcas* (Castillo Ospina, Velásquez, & Cuartas, 2011, pág. 35).

Por el contexto anterior se decidió enfatizar en la realización de un análisis de opacidad de las emisiones de partículas utilizando en primera instancia combustible extraído de la semilla de piñón, y luego diésel fósil, para esto se utilizará equipos y herramientas de los talleres del área de Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte.

## **1.4. MARCO TEÓRICO**

### **1.4.1. MOTOR TÉRMICO DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Es una máquina que transforma energía química en mecánica utilizable, mediante la quema de un combustible en una cámara de combustión. (Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011).

(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011) menciona: “En los motores volumétricos de combustión interna el trabajo es realizado por un fluido que actúa

sobre elementos móviles que ocupan un volumen variable, siempre acotado por valor máximo y otro mínimo” (p.14).

#### **1.4.2. MOTOR DIÉSEL**

El ingeniero Rudolf Diesel fue el inventor del motor a compresión por el año de 1883, Diesel colaboro con la firma MAN donde en aquellos años producían motores y vehículos pesados. Durante algún tiempo Rudolf Diesel, usó combustibles alternativos en motores de combustión interna bajo principios de motores de compresión sin ignición por chispa, en la búsqueda de un motor térmico de alto rendimiento (Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011, pág. 50).

##### **1.4.2.1. Definición**

(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011) afirma: “Los motores Diésel, al igual que los de explosión, son motores alternativos endotérmicos de combustión interna, es decir, transforman la energía en el interior del cilindro” (p.77). Mediante estos motores se obtiene más trabajo y mejor rendimiento de combustible ya que se consigue trabajar a presiones muy altas.

Para que la combustión se realice es preciso que la inyección del combustible diésel cumpla ciertas especificaciones:

- El gasóleo debe ser inyectado finamente pulverizado (entre 1400 - 1600 bares) en sistemas common rail, para distribuirse en la cámara de combustión y poder mezclarse con el aire.
- Por efecto de la compresión, la temperatura del aire debe estar superior a la de inflamación del combustible diésel (280 °C).

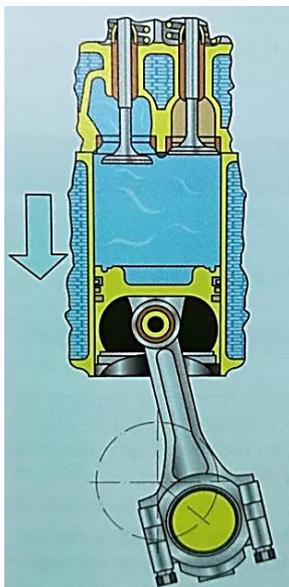
#### **1.4.3. CICLO TEÓRICO DE FUNCIONAMIENTO**

En un motor de cuatro tiempos el ciclo de trabajo se lo efectúa en cuatro carreras del pistón.

##### **1.4.3.1. Admisión**

(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011) menciona: “El pistón se desplaza desde el punto muerto superior (PMS) al punto muerto inferior (PMI), se abre la válvula de admisión y entra en el cilindro el aire perfectamente filtrado”

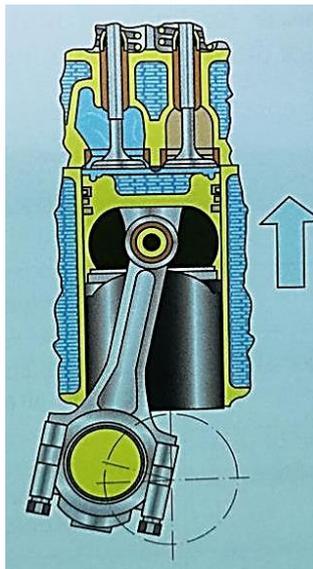
(p.77). El aire aspirado de la atmósfera recorre por el colector y la válvula de admisión se abre por un lapso muy pequeño hasta poder llenar toda la cavidad del cilindro, como se observa en la figura 1.1, mientras se efectúa esta acción la muñequilla del cigüeñal gira  $180^\circ$ .



**Figura 1.1** Ciclo de admisión en el motor Diesel  
(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011, pág. 79)

#### 1.4.3.2. Compresión

(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011) afirma: “Se cierra la válvula de admisión y el pistón se desplaza desde el PMI al PMS. El aire introducido durante la admisión se comprime en la cámara de combustión” (p.78). Aquí las dos válvulas tanto la de admisión como la de escape están completamente cerradas y el pistón comprime únicamente aire en la cámara de combustión a una presión muy alta, tal como se muestra en la figura 1.2 la muñequilla del cigüeñal gira  $180^\circ$  sumados a los  $180^\circ$  de la primera carrera completa la primera vuelta.

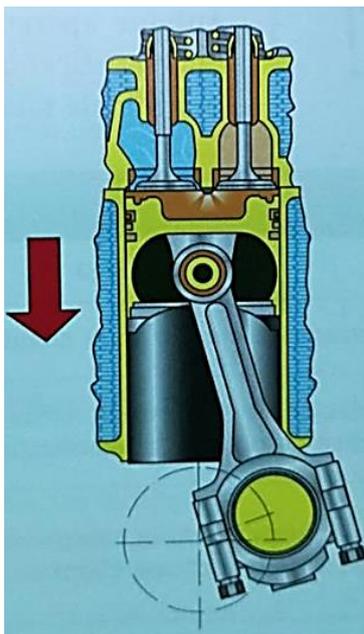


**Figura 1.2** Ciclo de compresión en el motor Diesel  
(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011, pág. 79)

#### 1.4.3.3. Combustión

(Edward, 1999) afirma: “El combustible, inyectado en el aire caliente altamente comprimido, se mezcla con el aire y arde rápidamente” (p.17). Al finalizar la compresión el pistón se encuentra en el PMS, aquí se inyecta el gasóleo en el interior de la cámara de combustión, la cantidad de combustible inyectado es regulado por la bomba de inyección. Debido a que la presión en el interior del cilindro es muy elevada, la presión de inyección del diésel debe ser de 150 a 300 atmósferas.

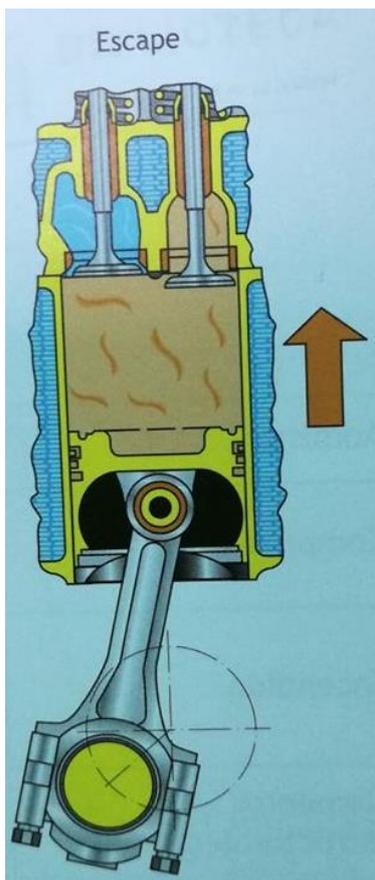
El combustible finamente pulverizado, arde en contacto con el aire caliente, dándose la combustión de este, debido a esto se aumenta la temperatura interna y la presión, mientras se mantiene la inyección se realiza el desplazamiento del pistón hasta el PMI, como se ve en la figura 1.3. En esta carrera el pistón efectúa su tercer recorrido y la muñequilla del cigüeñal gira de nuevo 180°.



**Figura 1.3** Ciclo de combustión en el motor Diesel  
(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011, pág. 79)

#### 1.4.3.4. Escape

(Edward, 1999) afirma: “La carrera de escape expulsa los gases quemados al exterior; cuando el pistón se mueve del PMI hacia arriba los empuja a través de la válvula de escape hacia el sistema de expulsión” (p.17). En esta carrera la válvula de escape se abre mientras el pistón efectúa su recorrido ascendente, expulsando a la atmósfera los gases remanentes producidos por la combustión, realizando un barrido de gases quemados y no quemados. En esta última carrera la muñequilla del cigüeñal efectúa otro giro de  $180^\circ$ , y con esto se completa las dos vueltas del árbol motor, dándose el correspondiente ciclo completo de trabajo, tal como se observa en la figura 1.4. De esta manera se terminan los cuatro tiempos del ciclo teórico diésel, el ciclo teórico presenta diferencias al ciclo real una de ellas es que la inyección no concuerda debidamente con el punto muerto superior (PMS), como también que las válvulas de escape se abren instantes antes de que el pistón alcance el puerto muerto inferior (PMI); No obstante en el ciclo teórico la combustión se presume que se origina a volumen constante, pero en el ciclo real sólo una parte lo hace, el resto de la combustión se efectúa a presión constante, únicamente en los motores diésel muy pesados, la combustión se desenvuelve acercándose al ciclo teórico.



**Figura 1.4** Ciclo de escape en el motor Diesel  
(Secundino, Jesús, Alejandro, & Juan Luis, 2011, pág. 79)

#### 1.4.4. COMBUSTIÓN EN EL MOTOR DIÉSEL

(Alonso J. P., 2009) afirma: “Como es sabido, en los motores Diésel la energía se la obtiene por la combustión del gasóleo al introducirlo en el cilindro finamente pulverizado, directamente en la cámara de combustión, en el momento que se encuentra repleta de aire fuertemente comprimido y caliente” (p.281). Dentro de la cámara, una vez que el combustible pulverizado, ha entrado y se ha puesto en contacto con el aire caliente comienza la combustión y el calor producido es transmitido a todo el volumen de aire en mezcla con el combustible inyectado, es así que la combustión puede empezar en cualquier lugar de la cámara en el cual la magnitud de temperatura del aire sobrepase al punto de inflamación del combustible.

El transcurso en el cual se evapora el gasóleo depende de tres aspectos:

- Temperatura del aire y punto de autoencendido del combustible.

- Presión en la cámara de combustión, influye de tal manera que mientras más elevada sea la presión, más compacto la mezcla entre el aire caliente y el gasóleo frío, por lo tanto, mayor cantidad de calor intercambiado.
- Dimensión de las partículas de combustible pulverizadas, mientras más fina la pulverización mejor la combustión.

La combustión se efectúa en tres fases:

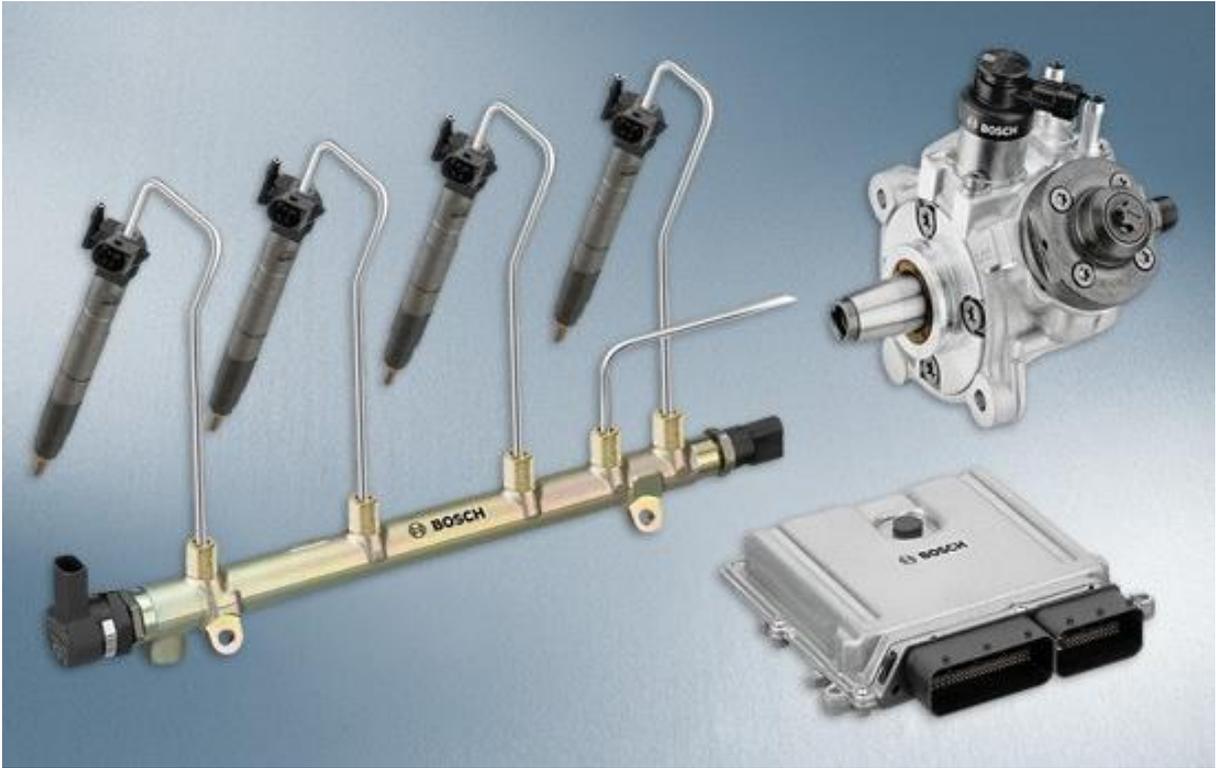
- Primera fase: El combustible entra en la cámara de combustión, la duración que tarda la entrada de las primeras gotas de gasóleo y el comienzo de la combustión se lo conoce como retardo a la inflamación, viéndolo desde el movimiento es el tiempo de giro del cigüeñal que tarda entre el inicio de la inyección y la inflamación.
- Segunda fase: las primeras gotas de combustibles alcanzan la inflamación espontánea debido a la alta temperatura del aire, esto ocasiona que se siga aumentando la temperatura y desencadena el encendido de todo el combustible que se encuentra dentro de la cámara, el acrecentamiento de la presión soportada por el pistón producida por la inflamación veloz del combustible se conoce con el nombre de combustión incontrolada.
- Tercera fase: una vez que se ha finalizada la combustión incontrolada el combustible se va consumiendo de manera que se va inyectando en la cámara a esto se lo conoce con combustión controlada que se da gracias a la presión y al calor producido en la combustión incontrolada.

#### **1.4.5. MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS CRDI**

El motor Common Rail Diesel Inyección (CRDi) fue expuesto en el año 1997 por la empresa *BOSCH*. El sistema se llama así por el acumulador de alta presión compartido (raíl común) que suministra el combustible a todos los inyectores y estos a su vez a la cámara de combustión (BOSCH, 2010).

Las creaciones que presentan los sistemas de inyección en motores Diésel permiten llegar a plasmar los estándares de las normas europeas y americanas, para un excelente control de las emisiones de los gases contaminantes. El sistema CRDi está formado de los siguientes sensores y actuadores que permiten que este sistema trabaje en óptimas condiciones, en la figura 1.5 se puede

observar un sistema common rail con sus principales componentes, mientras que en la tabla 1.1 y 1.2 se describe los sensores y actuadores del sistema:



**Figura 1.5** Sistema Common Rail  
(BOSCH, 2010, pág. 2)

#### 1.4.5.1. Sensores principales

En la siguiente tabla se conceptualiza de forma rápida el funcionamiento de los principales sensores del sistema de inyección en motores Diésel, en el que se describe el nombre del sensor y su funcionamiento.

**Tabla 1.1** Sensores principales del sistema de inyección Diesel

Sensor	Función
Régimen o CKP	Sincroniza los inyectores a los ciclos del motor.
Sensor de fase o CMP	Diferencia los cilindros gemelos y conoce cuál de estos está en las diferentes fases; permitiendo inyectar el combustible en el cilindro que corresponde.
Pedal de acelerador	Detecta la carga requerida por el conductor y según la pendiente.
Presión del Riel o RPS	Revela la presión en cada instante que suministra la bomba a este.

(Braun, Pumarino, & Tolvett, 2010, pág. 5)

### 1.4.5.2. Sensores secundarios

En la tabla 1.2 se conceptualiza de forma rápida el funcionamiento de los sensores secundarios del sistema de inyección en motores Diésel.

**Tabla 1.2** Sensores secundarios del sistema de inyección Diesel

Sensor	Función
Temperatura del motor o ECT	Muestra la temperatura de trabajo del motor.
Temperatura del combustible	Reconoce la temperatura del diésel antes de ingresar a la bomba; reduciendo así la presión del riel.
Caudalímetro másico de aire o MAF	Registra el flujo de aire de recepción al igual emite una señal a la válvula EGR para la recirculación de gases de escape.
Presión de admisión del colector o MAP	Muestra la sobrealimentación del Turbo.

(Braun, Pumarino, & Tolvett, 2010, pág. 6)

### 1.4.6. ACTUADORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS

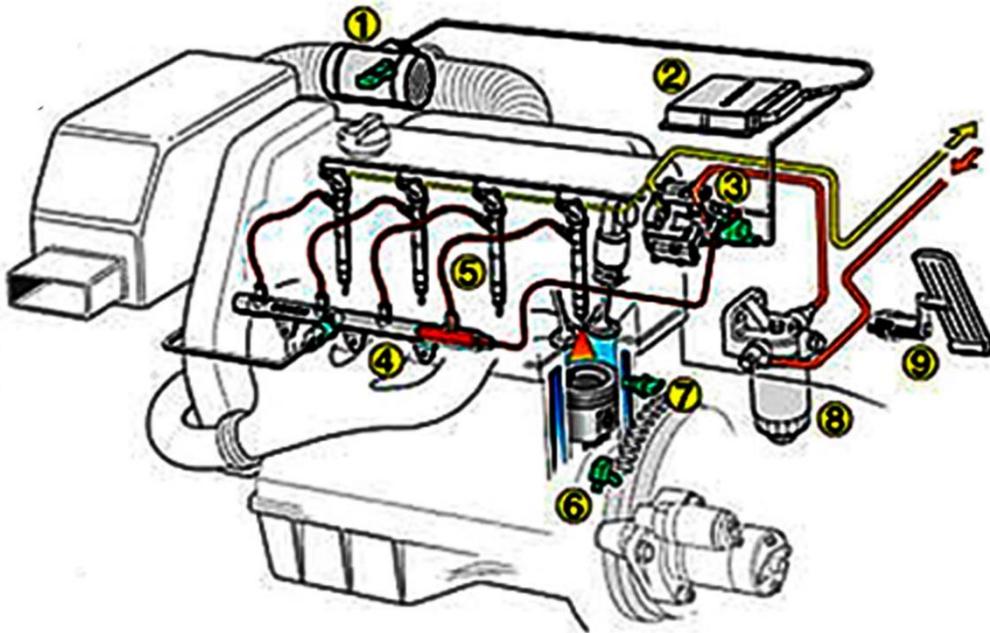
En la tabla 1.3 se puede conceptualizar de forma rápida el funcionamiento de actuadores tanto principales como secundarios del sistema de inyección CDRI.

**Tabla 1.3** Actuadores principales y secundarios en el sistema de inyección Diesel

Actuadores	
Principales	Secundarios
Inyectores hidráulicos de mandos electromagnéticos o piezoeléctricos.	Electroválvula de regulación del EGR.
Regulador de presión del riel.	Relé de control del precalentador.
Regulador de caudal de entrada a la bomba de alta presión.	Mariposa de parada.

(Braun, Pumarino, & Tolvett, 2010, pág. 7)

La figura 1.6 muestra el sitio de sensores y actuadores del sistema “Common Rail”, estos están situados dentro de un motor en distintos lugares de acuerdo con el fabricante de cada marca, los elementos están designados por números siendo el 1 el sensor MAF o medidor de masa de aire, 2 la también llamada computadora o ECU, 3 la bomba que eleva la presión en el rail, 4 el riel donde se acumula a alta presión el combustible, 5 los inyectores de combustible, 6 el sensor cuenta revoluciones, 7 sensor de temperatura, 8 filtro de combustible y 9 el sensor del pedal de aceleración.



**Figura 1.6** Elementos del sistema Common Rail

(BOSCH, 2010, pág. 5)

El sistema “Common Rail” permite emplear extensas funciones dentro de un motor Diésel, logrando controlar y regular la mejora de la inyección; la principal función del sistema “Common Rail” es controlar los tiempos de inyección de combustible, en el instante exacto con un caudal y presión apropiado al régimen de funcionamiento del motor. La presión de inyección se crea por medio de una bomba de alta presión, la cual manda la presión al riel común en el cual se conectan todos los inyectores y reciben una presión similar.

#### **1.4.6.1. Bomba de Inyección**

La bomba de alta presión es un dispositivo primordial dentro del sistema Diésel CRDi, esta es la que se encarga de generar la presión que se almacena dentro del riel común; con el adelanto de los años y las exigencias de las prestaciones de los vehículos este tipo de bombas han ido evolucionando, en la tabla 1.4 se detalla la como ha sido este adelanto con el pasar del tiempo; esto ha permitido al sistema extender la presión existente dentro del riel.

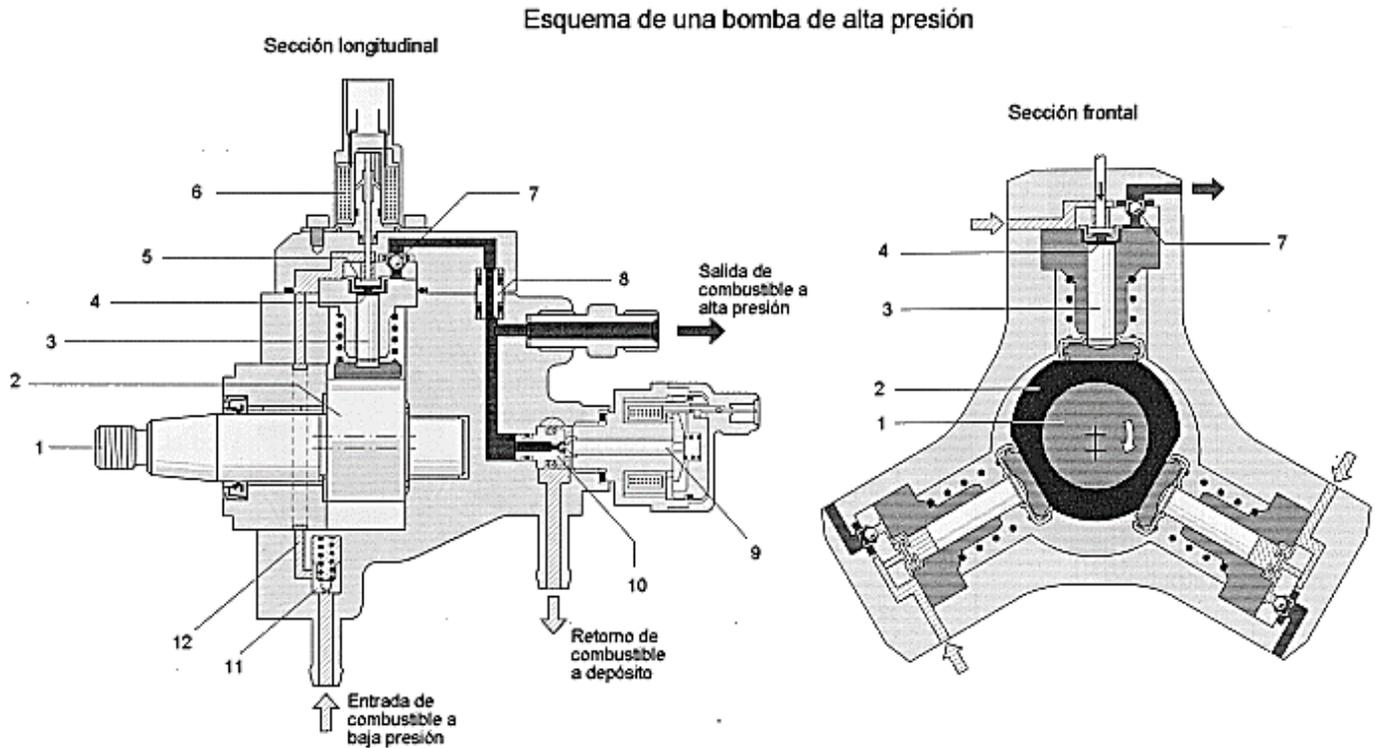
**Tabla 1.4** Generación de bombas Common Rail

<b>Serie de la bomba Common Rail</b>	<b>Año de fabricación</b>	<b>Presiones de inyección (bar)</b>
CRSN1	1999 -2001	1400
CRSN3	2005	1800
CRSN3-25	2005 - 2006	2500
CRSN4	2007	2100

(BOSCH, 2010, pág. 64)

En la figura 1.7 se presenta las partes de una bomba de alta presión y se describe su funcionamiento, el gasóleo del tanque llega gracias a la ayuda de una bomba de baja presión, luego se impulsa el combustible a través del taladro de estrangulación de la válvula de seguridad 11, y lo manda hasta el circuito de lubricación y refrigeración de la bomba. El eje principal 1 también llamado eje de accionamiento posee una leva excéntrica 2, que hace posible mover los tres émbolos de la bomba 3, de arriba hacia abajo y viceversa, en sincronización con la forma de la leva (Aficionados a la Mecánica, 2014).

Si la presión excede la presión de apertura de la válvula de seguridad (0,5 a 1,5 bar), la bomba consigue impulsar el gasóleo por la válvula de entrada de la bomba de alta presión, y lo manda hasta el circuito del émbolo cuando este se va hacia abajo (carrera de aspiración). Cuando se supera el punto muerto inferior, la válvula de entrada se cierra, y el gasóleo en la cámara de aspiración o compresión (4) ya no puede salir. Únicamente puede ser comprimido cuando se supera la presión de envío de la bomba previa. La presión que se crea en la válvula de salida (7), comprime el combustible en cuanto se alcanza la presión en el Rail. (Aficionados a la Mecánica, 2014).



1. Árbol de Accionamiento 2. Leva excéntrica 3. Émbolo 4. Cámara de compresión 5. Válvula de aspiración 6. Válvula de desconexión del elemento 7. Válvula de salida 8. Pieza estanqueizante 9. Válvula reguladora de alta presión 10. válvula de bola 11. válvula de seguridad con taladro estrangulador 12. Canal de baja presión.

**Figura 1.7** Bomba de alta presión con sus partes  
(MEGANEBOY, 2014, pág. 37)

#### 1.4.6.2. Inyectores electrónicos

Los sistemas de inyección diésel Common Rail pueden llevar diferentes tipos de inyectores, los cuales han ido evolucionado a la par con los sistemas de inyección con la finalidad de optimizar el funcionamiento del motor, con esto se logra más exactitud a la hora de inyectar el combustible y la simplificación del sistema; logrando reducir la emisión de gases producidos por la combustión.

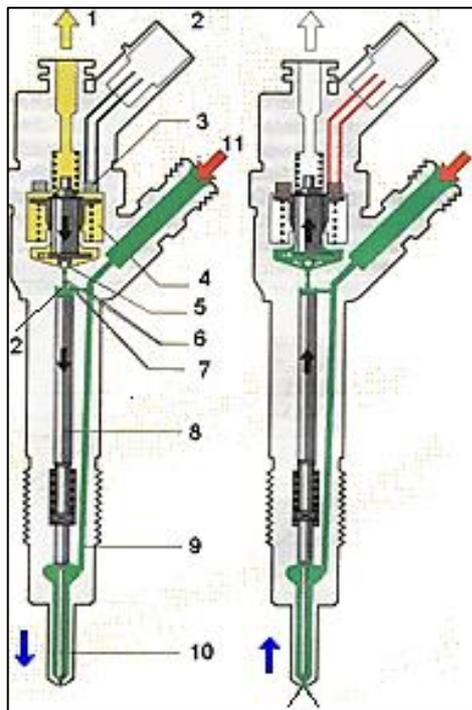
Hay dos tipos de inyectores electrónicos, se describen a continuación cada uno de los inyectores.

##### a) Estructura del Inyector Bobinado

En la figura 1.8 se expone la estructura de un inyector electrónico, el gasóleo comprimido a alta presión viene del riel y entra por 11, al interior del inyector para continuar por el canal de afluencia 9, hasta la aguja del inyector 10, como también a través del estrangulador de entrada 6 y hacia la cámara de control 12. La

cámara de control 12 está conectada con el retorno de combustible 1 por medio del estrangulador de salida 7 y la electroválvula 3.

Cuando la electroválvula 3 no recibe la señal de la computadora (ECU) esta no se acciona y el gasóleo que existe en la cámara de control 12 no puede salir a través del estrangulador de salida 7, esto presiona al embolo de control 8, que a su vez empuja la aguja del inyector 10, contra su asiento no dejando salir el combustible y como resultado a esto no se produce la inyección.



1. Retorno de combustible 2. Conexión eléctrica 3. Electroválvula 4. Muelle 5. Bola de válvula 6. Estrangulador de entrada 7. Estrangulador de salida 8. Embolo de control de válvula 9. Canal de afluencia 10. Aguja del inyector 11. Entrada de combustible 12. Cámara de control

**Figura 1.8** Inyector electrónico  
(Aficionados a la Mecánica, 2014, pág. 263)

En el instante que la electroválvula esta accionada se abre y deja pasar libremente el gasóleo que está en la cámara de control. El gasóleo ya no presiona al embolo, de esta manera el combustible va hacia el estrangulador de salida y luego al retorno de combustible 1 por medio de la electroválvula. La aguja del inyector al reducir la fuerza del émbolo que la apretaba al asiento del inyector es empujada hacia arriba por el combustible que la encierra produciéndose la inyección.

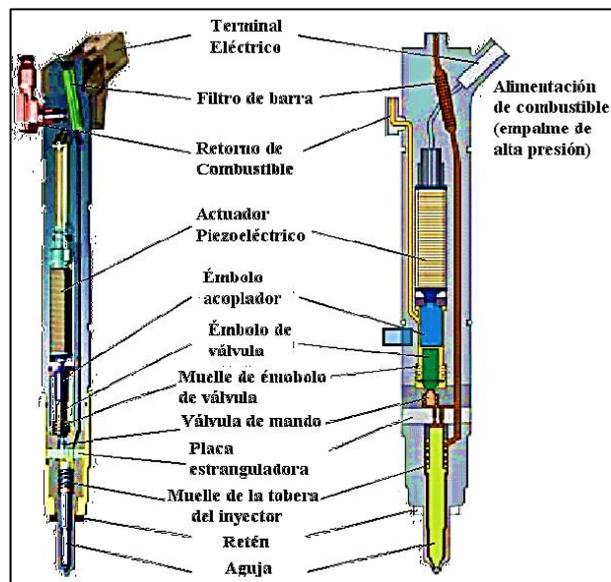
La electroválvula no se acciona de forma directa en la inyección, sino que se usa como un servomecanismo hidráulico destinado a generar la fuerza necesaria para

conservar cerrada la válvula del inyector, por medio de la presión que se genera sobre la aguja que la tiene pegada al asiento de esta.

El caudal de combustible ocupado para el trabajo de control dentro del inyector vuelve al depósito de combustible por medio del estrangulador de salida, la electroválvula y el retorno de combustible 1.

### 1.4.6.3. Inyectores Piezoeléctricos

Un elemento piezoeléctrico es aquel al cual aplicando una deformación genera una tensión eléctrica, y de manera inversamente en el momento que se le aplica tensión puede producir una deformación mecánica. Las ventajas de los inyectores de tipo piezoeléctrico sobre los convencionales son: los tiempos de conmutación son cortos, una gran posibilidad de inyecciones múltiples en tiempos muy pequeños y una gran exactitud en la dosificación, en la figura 1.9 tenemos un inyector piezoeléctrico con sus partes (AG, 2017, pág. 267).

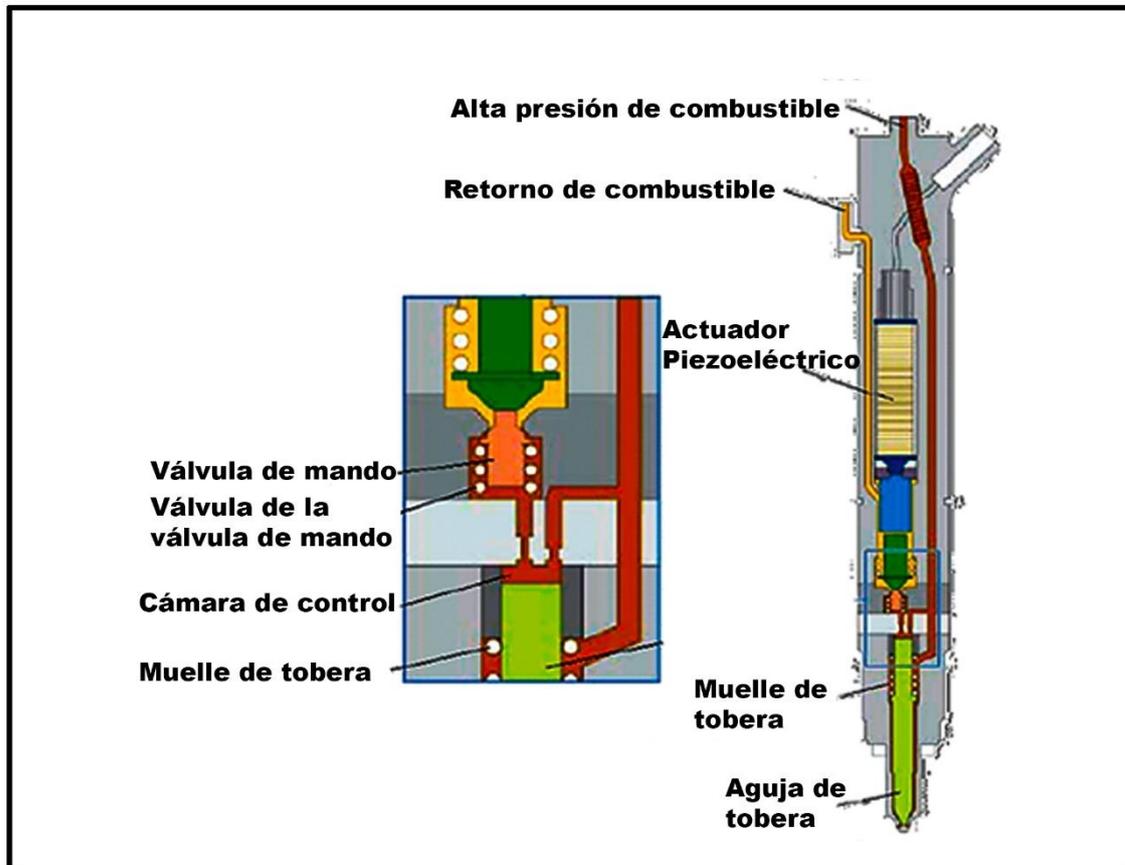


**Figura 1.9** Inyector piezoeléctrico  
(VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 267)

Este actuador está formado por un sin número de elementos piezoeléctricos, para poder lograr un recorrido de suficiente magnitud para la misión del inyector. En el momento de aplicar tensión al actuador piezoeléctrico, este se dilata hasta 0,03mm con una tensión de excitación que va desde 110 hasta 148 voltios (AG, 2017, pág. 267).

El actuador no está excitado por lo que el inyector no se encuentra accionado. La válvula de mando es comprimida contra su asiento debido a la alta presión del

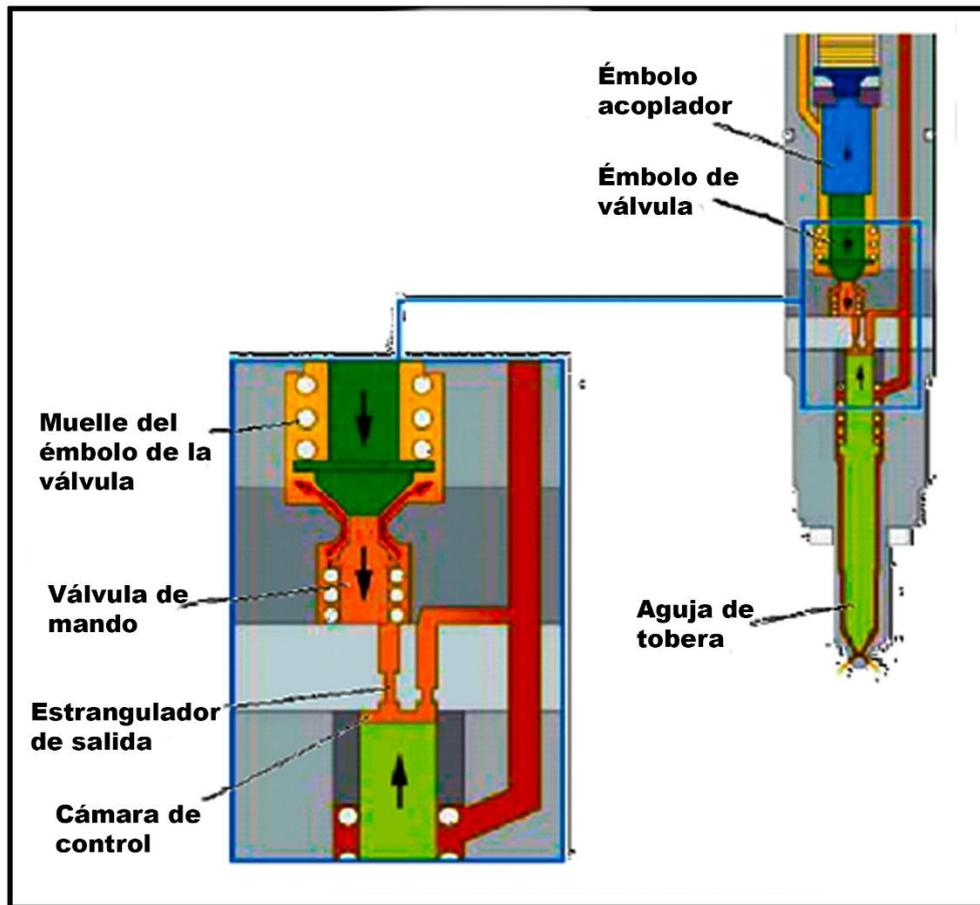
combustible y por la fuerza del muelle; de esa manera queda separada la parte de alta presión del retorno, la aguja de la tobera es cerrada debido a la alta presión del fluido que se encuentra en la cámara de control ubicada por encima de la aguja. En la figura 1.11 se observa al inyector piezoeléctrico en posición cerrado.



**Figura 1.10** Inyector piezoeléctrico cerrado  
(VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 280)

a) Comienzo de la inyección

La unidad de control inicia la inyección, para esto se estimula el actuador piezoeléctrico, dilatándose y transmitiendo el movimiento sobre el émbolo acoplador; el descenso del émbolo produce una presión hidráulica en el módulo acoplador, la cual actúa por medio del émbolo de válvula sobre la válvula de mando, tal como se observa en la figura 1.12



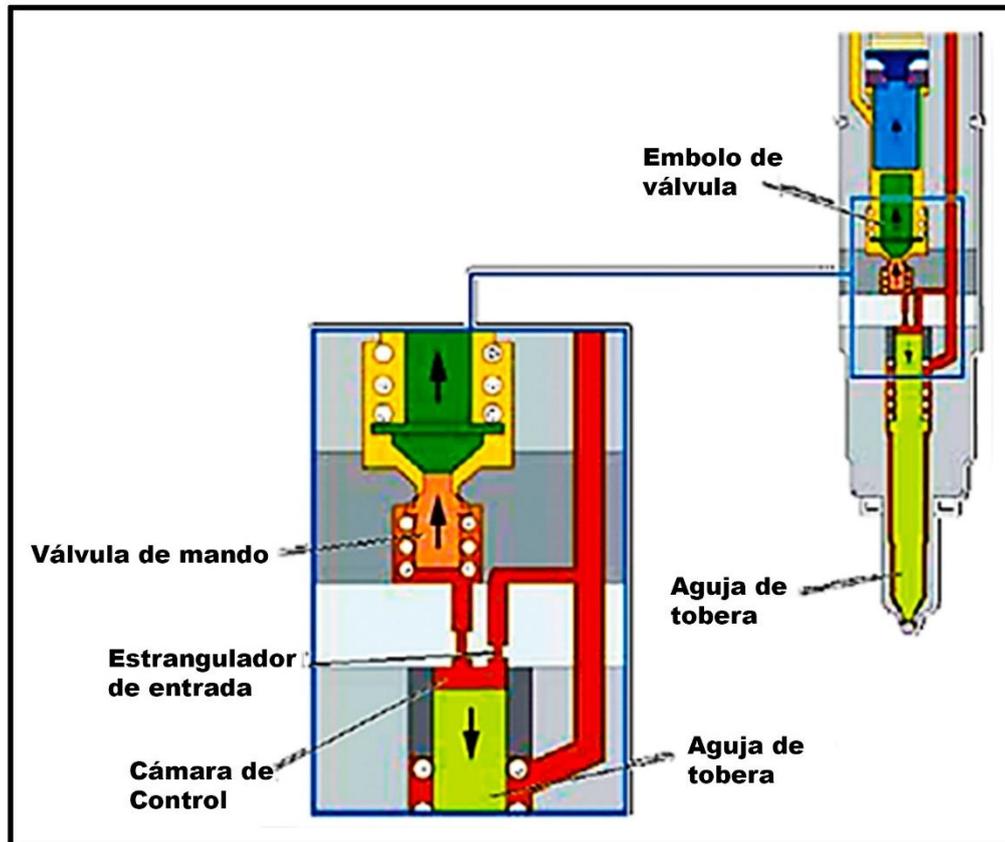
**Figura 1.11** Inyector piezoeléctrico abierto  
(VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 282)

La válvula de mando se abre debido a la fuerza hidráulica del módulo acoplador y abre así el paso del fluido que se encuentra a alta presión hacia la zona de retorno, el combustible en la cámara de control fluye a través del estrangulador de salida hacia el retorno. Esto ocasiona que la presión del fluido se reduzca instantáneamente en la parte superior de la aguja, la aguja se despega del asiento y se produce la inyección.

b) Fin de la inyección

La inyección finaliza cuando la unidad de control deja de estimular el actuador piezoeléctrico; ambos émbolos del módulo acoplador se mueven hacia arriba y la válvula de mando es comprimida contra su asiento, como se muestra en la figura 9, por medio del estrangulador de alimentación fluye gasóleo hacia la cámara de control por arriba de la aguja de la tobera; la presión del fluido en la cámara de control aumenta de nuevo hasta llegar a la magnitud que tiene en el acumulador de alta presión, y cierra la aguja de la tobera. La gestión de inyección queda

finalizada y el inyector se encuentra de nuevo en posición de reposo, tal como se observa en la figura 1.13.



**Figura 1.12** Fin de la inyección  
(VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 287)

#### 1.4.7. COMBUSTIBLES

(Alonso J. P., 2009) afirma: “Los combustibles para motores de combustión interna son materias cuya energía química puede transformarse en calor y a continuación en trabajo mecánico en el motor” (p.265). Se considera a los combustibles a cualquier sustancia que puede llegar a desprender energía por medio de una combustión controlada o escisión nuclear, consiguiendo energía mecánica utilizable o movimiento.

##### 1.4.7.1. Clasificación de los combustibles

En la tabla 1.5 se detalla una clasificación de combustibles, de forma general se presenta las principales características y se enuncia ejemplos de estos tipos.

**Tabla 1.5** Clasificación de los combustibles

Tipo de combustible	Características	Ejemplos
Gaseoso	Naturales u obtenidos a partir de la gasificación de sólidos Deben estar contenidos en bombonas Se clasifican en gases líquidos y gases permanentes Gases líquidos son una mezcla de hidrocarburos Gases permanentes no son usados en automoción por la necesidad de estar almacenados a altas presiones	Propano ( $C_3H_8$ ), Butano ( $C_4H_{10}$ )  Metano ( $CH_4$ ), gas de coque
Líquidos	Empleados casi en exclusiva en motores de combustión interna La mayoría son derivados del petróleo Se clasifican en carburantes y aceites pesados Carburantes utilizados en MCI encendidos por chispa Aceites pesados o petróleos utilizados en motores de ciclo diésel	Gasolina, benzol ( $C_6H_6$ ), alcoholes como: metanol ( $CH_3OH$ ) y etanol ( $C_2H_5OH$ )  Gasoil o gasóleo
Sólidos	No tienen aplicación práctica en la automoción Se debe de transfórmalos en gaseosos para poder utilizarlos en la automoción mediante los gasógenos	Leña, carbón natural, antracita

(Alonso J. P., 2009, pág. 265)

#### 1.4.8. COMBUSTIBLE DIÉSEL

(Mejía, 2010) afirma: “El Aceite Combustible para motores, (ACPM) o diésel es un combustible de destilado obtenido del fraccionamiento o destilación primaria del petróleo” (p.31). El combustible diésel o también conocido como gasóleo es un combustible derivado del petróleo obtenido a través de un proceso llamado destilación fraccionada a temperaturas entre los 190 a 400 °C. El cual consiste, en calentar al crudo sin entrada de aire hasta llevarlo al punto de ebullición y debido a este calentamiento los diferentes tipos de componentes evaporados se fraccionan o se separan, condensándose más tarde gracias a un enfriamiento. El diésel está compuesto principalmente de por compuestos parafínicos ( $C_nH_{2n+2}$ ), naftalénicos ( $C_nH_{2n}$ ) y aromáticos ( $C_nH_{2n-6}$ ).

##### 1.4.8.1. Serie Parafínica ( $C_nH_{2n+2}$ )

Aquí los átomos se unen por enlaces químicos simples y forman cadenas simples a esta serie pertenece el hexano ( $C_6H_{14}$ ), heptano ( $C_7H_{16}$ ) y octano ( $C_8H_{18}$ ).

#### 1.4.8.2. Serie Nafténica (C<sub>n</sub>H<sub>2n</sub>)

Su estructura molecular es de cadena cerrada o también llamada cíclica a esta serie pertenece el ciclohexano (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>) y cicloheptano (C<sub>7</sub>H<sub>14</sub>).

#### 1.4.8.3. Serie Aromática (C<sub>n</sub>H<sub>2n-6</sub>)

Donde la estructura molecular es de cadena cerrada no saturada o no completada a esta serie pertenecen los hidrocarburos tal como el benceno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).

El combustible diésel está dentro del número de carbono de C<sub>10</sub>H<sub>22</sub>, adicionalmente también se encuentra en su composición nitrógeno, oxígeno, azufre y metales trazos como el vanadio entre otros.

El mejoramiento de la calidad del combustible diésel se lo realiza mediante el uso de reacciones químicas, el proceso de mejoramiento más comúnmente utilizado para el gasóleo es el hidrotratamiento que elimina olefinas, azufre, nitrógeno y compuestos de oxígeno.

#### 1.4.8.4. El combustible diésel en el Ecuador

“El Gobierno ecuatoriano anunció que desde el 5 de enero del 2012 el parque automotor de todo el país está abastecido de diésel Premium” (Ecuadorinmediato, 2012). El combustible diésel que utiliza el sector automotriz desde enero del 2012 es de mejor calidad, esto se dio como parte del cumplimiento del Plan de Mejoramiento de la calidad de los combustibles, ya que anteriormente solo el 16% consumía diésel Premium y ahora lo recibe el 100% de consumidores.

##### a) Propiedades del combustible diésel Premium

En la tabla 2 se encuentra las especificaciones del combustible diésel categoría 3 extraído tanto de las normas del INEN para combustibles como de la *Worldwide Fuel Charter*, estos valores sirven de referencia para el combustible diésel Premium en Ecuador.

#### 1.4.8.5. Relación de las propiedades del combustible diésel a la composición y rendimiento

La tabla 1.6 enumera propiedades del combustible diésel importantes e indica cómo afectan al rendimiento, una columna señala el tiempo del efecto de rendimiento ya sea inmediatamente o después de cierto número de horas de funcionamiento (a largo plazo). La mayoría de las propiedades de la tabla 3 se resuelven con la norma ASTM D 975, especificación estándar para los aceites de combustible diésel, adecuados a varios tipos de motores diésel.

**Tabla 1.6** Relación de las propiedades del combustible diésel con la composición y rendimiento

Propiedad	Efecto en el motor	Tiempo de efecto
Índice de cetano	Medida de la calidad de ignición, afecta el arranque en frío	Inmediato
Densidad a 15 °C	Afecta en el calentamiento	Inmediato
Viscosidad a 40 °C	Afecta la pulverización del combustible y afecta las fugas del sistema de combustible	Inmediata y a largo plazo
Azufre	Afecta las emisiones de partículas, el desgaste en el cilindro y formación de depósitos	Partículas: inmediato Desgaste: a largo plazo
Punto de inflamabilidad	Seguridad en el manejo, no directamente con el rendimiento en el motor	Inmediato
Residuo de carbono	Formación de depósitos en el motor	A largo plazo
Agua	Afecta a filtros e inyectores	A largo plazo
Volatilidad	Afecta a la facilidad de partida y emisiones de humo	Inmediato
Ceniza	Afecta al sistema de inyección de combustible y formación de depósitos en la cámara de combustión	A largo plazo
Punto de nube y punto de fluidez	Afecta a la operabilidad a baja temperatura	Inmediato
Lubricidad	Afecta al sistema de inyección de combustible	Moderado a corto plazo Severas a largo plazo

(Chevron Coporation, 2007, pág. 45)

#### 1.4.9. EMISIÓN DE AEROSOLES DE PARTÍCULAS Y GASES POR LA COMBUSTIÓN DIÉSEL

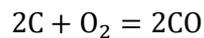
Los motores a compresión transforman energía química contenida en el combustible diésel en energía mecánica utilizable. El combustible diésel es inyectado a alta presión en el cilindro del motor, donde se mezcla con aire previamente comprimido y por lo tanto muy caliente, debido a esto se da la combustión (de Castro Vicente, 1987, pág. 148).

Los gases que expulsa el motor contienen sustancias nocivas para la salud humana y el medio ambiente, el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y aldehídos se dan por una combustión incompleta del combustible, una parte de hidrocarburos resultan del lubricante del motor, los aldehídos e hidrocarburos son los que ayudan al olor particular del diésel. Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) se dan debido a la reacción entre el oxígeno y el nitrógeno del aire, por las altas presiones y temperaturas obtenidas dentro de la cámara de combustión del motor.

El dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) se da por la presencia del azufre contenido en el diésel, la oxidación del dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) da como resultado trióxido de azufre, precursor del ácido sulfúrico (Blumberg, Wlash, & Pera, 2003, pág. 31).

#### **1.4.9.1. Monóxido de Carbono (CO)**

El CO es un gas incoloro, inodoro, insípido y tóxico, se puede difundir velozmente y se concentra mayormente cerca del suelo por ser más denso que el aire. El monóxido de oxígeno se da por una combustión incompleta, comúnmente por ausencia de oxígeno, es decir por una mezcla llamada “rica”, en la ecuación 1.1 se aprecia la reacción.



[1.1]

Donde:

C = carbono

O = oxígeno

En las mezclas ricas el CO es elevado, en cambio en mezclas pobres el CO es mínimo (de Castro Vicente, 1987, pág. 154).

#### **1.4.9.2. Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>)**

Se sabe que, a temperatura ambiente, el oxígeno y el nitrógeno no reaccionan entre sí. Los óxidos de nitrógeno se forman a altas temperaturas aproximadamente entre 1.500°C a 2.000°C y con presencia de un excedente de oxígeno. Este proceso es negativo para la combustión del motor a compresión, ya que, sustrae el oxígeno necesario para la reacción de combustión dentro del cilindro y con esto hace que se aumente las cantidades de monóxido de carbono y de hidrocarburos inquemados, el NO<sub>x</sub> más abundante es el monóxido de nitrógeno estando dentro del 98% del total de NO<sub>x</sub>. Los NO<sub>x</sub> sumado a los HC más la acción solar, producen una sustancia muy irritante tanto para personas como para animales.

En combustiones con mezclas ricas se produce poco NO<sub>x</sub>, en cambio en mezclas pobres se produce una concentración máxima de NO<sub>x</sub>.

#### **1.4.9.3. Hidrocarburos sin quemar (HC)**

Los hidrocarburos inquemados (HC) se dan por una combustión incompleta, con las siguientes características, poco oxígeno, tiempo insuficiente para que se den las reacciones químicas, pérdida de llama.

Los HC irritan los órganos de la vista y audición, también ataca al sistema nervioso y algunos son cancerígenos como el benceno, con la acción de los rayos solares y en presencia de óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$  se produce sustancias oxidantes llamada niebla fotoquímica, que afecta principalmente a los ojos y el sistema respiratorio.

En mezclas ricas no se puede quemar por completo los hidrocarburos es decir se produce hidrocarburos sin quemar, en cambio en mezclas pobres, la concentración de HC tiende a ser mínima (Blumberg, Wlash, & Pera, 2003, pág. 56).

#### **1.4.9.4. Las partículas de hollín PM**

Las partículas de hollín, características en los gases de escape de un motor Diésel, constan de un núcleo y varios componentes adicionados, de los cuales únicamente los hidrocarburos HC se oxidan en el catalizador del vehículo. Los residuos de las partículas de hollín sólo pueden ser captados mediante filtros especiales; los efectos que ejercen sobre el organismo humano todavía no están aclarados por completo (Maco, 2014).

#### **1.4.9.5. Opacidad**

La Opacidad está definida como la fracción de luz transmitida por un humo, el cual impide alcanzar el detector del instrumento, también se la puede representar como una magnitud derivada de la transmitancia (Chanatasig, Arcentales, & Erazo, 2014, pág. 6).

#### **1.4.10. IMPACTO DE LOS GASES DE ESCAPE EN LA SALUD**

Los gases resultantes de la combustión, nombrados anteriormente causan afectaciones paulatinas a la salud de las personas. Estos se hacen presentes en el aire debido a una mala inflamación del combustible en los motores, el exceso de gases dentro del ambiente genera un sin número de enfermedades cuando son emanados. En la tabla 1.7, se detalla algunos impactos que genera los gases de escape en la salud de los seres humanos.

**Tabla 1.7** Impacto de los gases de escape en la salud

<b>Emisiones exhaustivas</b>	<b>Impacto en la salud</b>
PM	Asma agravada, bronquitis, enfisema, disminución de la función pulmonar, el debilitamiento del corazón, ataques al corazón, muerte prematura, cáncer de pulmón y muertes cardiopulmonares, tos y dificultad para respirar o dolor
NO <sub>x</sub>	Bronquitis y neumonía, irritan los pulmones y causa el edema; y la sensibilidad a polvo y el polen en asmáticos
CO	Promover la morbilidad en las personas con problemas circulatorios o respiratoria, crecer cosa fetal en mujeres embarazadas y el desarrollo del tejido de los niños pequeños
HC	Irritación de los ojos, tos y estornudos, somnolencia y síntomas semejantes a la embriaguez. Algunos hidrocarburos tienen una afinidad cerca para partículas de diésel y pueden contribuir a la enfermedad pulmonar

(Jiaqiang E, 2017, pág. 43)

#### 1.4.11. BIOCOMBUSTIBLES

Proviene del griego “bio” que significa vida, y es definido como una fuente de energía proveniente de cualquier materia orgánica ya sea animal o vegetal y que a diferencia de los otros combustibles tales como fósiles o nucleares cumple ciertos aspectos como son: origen orgánico, renovable, sostenible, biodegradable, escalable, carbón neutral, en la tabla 1.8 se especifica cada uno de estos aspectos (Castro, Coello, & Castillo, 2007, pág. 36).

**Tabla 1.8** Características de los biocombustibles

<b>Aspecto</b>	<b>Definición</b>
Origen Orgánico	Proviene de cualquier materia orgánica
Renovable	Capacidad de renovarse mediante procesos biológicos
Sostenible	Que los procesos productivos y económicos permitan que se utilice de forma perpetua
Escalable	Debe de poder llegar a satisfacer a toda la demanda existente
Carbón Natural	Que la cantidad de carbono emitido es neutralizado por la misma cantidad de carbono absorbido
Biodegradable	Que la naturaleza sea capaz de procesar y asimilar los residuos que ocasiona el consumo de un biocombustible

(Al, 2013, pág. 15)

#### 1.4.11.1. Biomasa

(Al, 2013) afirma:” Se denomina biomasa a básicamente al producto oriundo de algún organismo vivo (es decir materia orgánica) que, una vez procesado, irá generar la energía o beneficio que se desea obtener del mismo” (p.25). Se debe tener en cuenta que el término de “Biomasa” tiene muchas definiciones según muchos autores se puede definir la biomasa como un recurso energético derivado de la materia orgánica, o también se define a la biomasa como, un material de origen biológico excluyendo material incrustado en formaciones geológicas y que con el paso del tiempo se han transformado en material fósil, de una manera simple se puede definir a la biomasa como el origen de los biocombustibles que mediante un proceso culminará en la generación de cierto beneficio que universalmente es energía.

En la tabla 1.9 se clasifica la biomasa según su origen.

**Tabla 1.9** Orígenes y clasificación de la biomasa

<b>Según su Origen</b>		
<b>Origen vegetal</b>	<b>Origen animal</b>	<b>Origen residual</b>
Sus orígenes conforman las plantas y las algas	Tiene su origen en grasas animales principalmente las utilizadas en la alimentación humana	Su origen lo conforma los residuos ya sea de origen vegetal, animal o residuos obtenidos del procesamiento de alimentos
Biodiesel: jatropha Curcas y algas Etanol: miscanthus y maíz	Biodiesel: grasa de pollo, vaca o cerdo	Gas metano: aguas residuales Biodiesel: restos de fritura de restaurantes Etanol: basura
<b>Según la manera como es obtenido</b>		
<b>Biomasa natural</b>	<b>Biomasa residual</b>	<b>Biomasa producida</b>
Se da en la naturaleza sin ningún tipo de intervención de la mano humana	Originaria del procesamiento de acciones humanas ya sea agrícolas, ganaderos, industriales como también basuras y aguas residuales	Principalmente cultivos y otras actividades con la finalidad de generar biomasa
Madera de un bosque	Aceites de frituras de restaurantes Heces bovinas Basuras metropolitanas	Cultivos de maíz, caña de azúcar y jatropha curcas

(Al, 2013, pág. 56)

#### 1.4.11.2. Proceso de obtención de biocombustibles

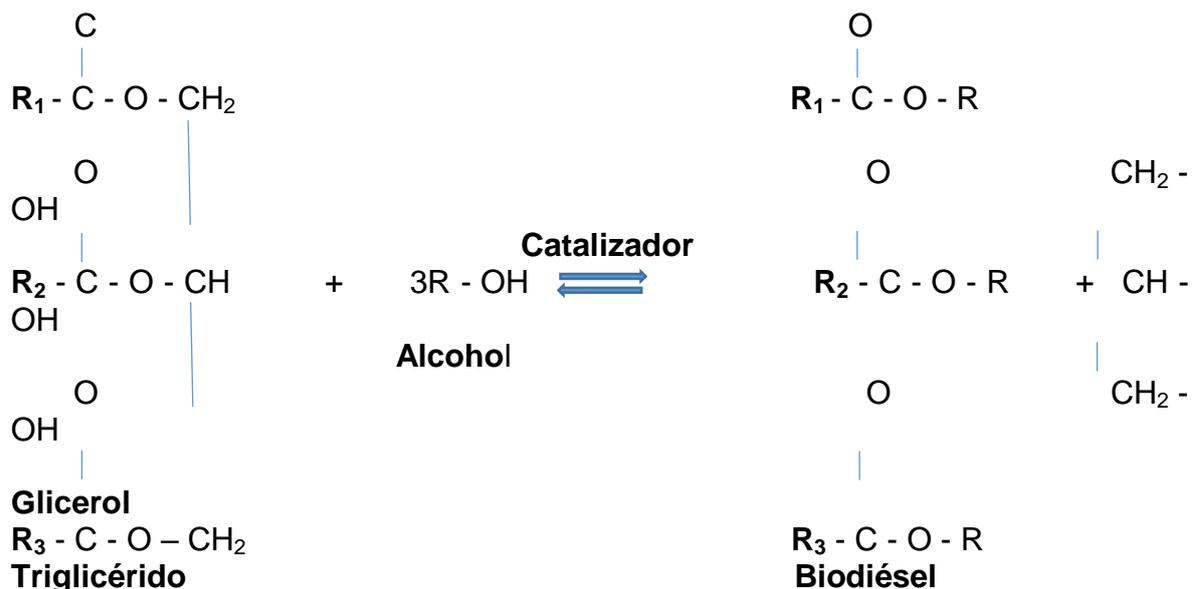
La línea de producción de un biocombustible sigue el siguiente orden de proceso:

- Obtención de la materia prima: este es el primer paso exclusivo para biocombustibles de biomasa producidas e inexistente para biomasa de origen residual, aquí se obtiene la materia orgánica de la cual se podrá extraer la biomasa, por ejemplo, el cultivo de árboles o cereales.
- Obtención de la biomasa a partir de esa materia prima: aquí la materia prima obtenida en la fase anterior es procesada para así poder obtener biomasa, por ejemplo, los árboles sembrados son triturados o los cereales son cosechados y procesados.
- Obtención de biocombustibles de la biomasa: la biomasa obtenida es procesada para obtener el biocombustible, por ejemplo, la masa de jatropha curcas se prensa, el jugo de caña de maíz se fermenta, siendo este el paso más complicado dentro de la línea de producción de los biocombustibles desde el punto de vista técnico.

#### 1.4.12. TRANSESTERIFICACIÓN

(Michelena, Álvarez, & Martín, 2008) afirma: “La esterificación es el método más sencillo para acercar las características de los aceites a las del gasoil, y el resultado es bastante bueno para que se pueda hacer la sustitución sin que el sistema sufra menoscabo alguno” (p.254). En la esterificación, los triglicéridos en presencia de un alcohol más una base, producen una reacción llamada transesterificación, también conocida como hidrólisis alcalina. La transesterificación es la reacción de un lípido en presencia de un alcohol, resultando un éster y un glicerol como se ve en la ecuación 1.2.

Una vez que se tiene el aceite, éste se mezcla con un exceso de metanol cuya relación estequiométrica está dentro de 3 a 1 es decir 3 moles de alcohol por cada mol de aceite, en presencia de un catalizador puede ser hidróxido de potasio (KOH) u otro ya sea alcalino o ácido, se utiliza un reactor discontinuo para obtener el metiléster y la fase acuosa a base de glicerina, (Michelena, Álvarez, & Martín, 2008) afirma: “Un rápido estudio indica que 100 kg de aceite y 11 kg de metanol (con catalizador) producen en una hora (a 70 °C) una cantidad de 100 kg diéster (sinónimo de biodiesel, contracción de diésel y éster) y 11 kg de glicerina” (p-254).



[1.2]

$\text{R}_1$  = ácido palmítico =  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$

$\text{R}_2$  = ácido oleico =  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

$\text{R}_3$  = ácido linoleico =  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH} = \text{CHCH}_2\text{CH} = \text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

#### 1.4.13. BIODIÉSEL

(Chevron Coporation, 2007) afirma: “El biodiésel es un combustible compuesto de ésteres mono-alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de aceites vegetales o grasas animales” (p.39). El biodiésel es una alternativa al gasoil derivado del petróleo, puede ser usado como sustituto o aditivo del diésel convencional, hecho de recursos domésticos, renovables como aceites vegetales, grasa de origen animal, aceite de cocina reciclado e incluso de fuentes como las algas. El biodiésel no contiene petróleo, pero puede mezclarse con diésel del petróleo. Las mezclas de biodiésel pueden utilizarse en motores de encendido por compresión con poca o ninguna modificación. El biodiésel es más limpio, fácil de usar, biodegradable, no tóxico y esencialmente libre de azufre y aromáticos.

El biodiésel no es aceite vegetal crudo. El biodiésel de combustible debe ser producido a estrictas especificaciones de la industria (ASTM D6751) con el fin de garantizar un rendimiento óptimo.

En la tabla 1.10 se especifica valores de algunas propiedades según la norma ASTM D6751-09.

**Tabla 1.10** Propiedades fisicoquímicas del biodiésel

Propiedad	Unidad	Limite		Método de Prueba (ASTM)
		Mínimo	Máximo	
Punto de inflamación	°C	93		D93
Agua y sedimento	% volumen		0,05	D2709
Número ácido	mg KOH/g		0,5	D664
Ceniza sulfurada	% masa		0,02	D874
Corrosión lámina de cobre			N°3	D130
Residuo de carbono	% masa		0,50	D4530
Viscosidad cinemática	mm <sup>2</sup> /s	1,9	6	D445
Número de cetano		47		D613
Filtrabilidad de impregnado en frío	segundos		360	En 14112
Estabilidad de oxidación	horas	3		En 14112
Glicerina libre	% masa		0,02	D6584
Glicerina total	% masa		0,24	D6584
Sodio y potasio combinados	ppm		5	En 14538
Calcio y magnesio combinados	ppm		5	En 14538
Azufre	ppm		10	D5453
Contenido de fósforo	% masa		0,001	D4951
Temperatura destilación	°C		360	D1160

(Jiaqiang E, 2017, pág. 164)

Ventajas en la utilización de biodiésel:

- No emite óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) debido a que su contenido de azufre es prácticamente nulo.
- Se obtiene una mejor combustión debido a su alta presencia de oxígeno en sus moléculas por unidad de volumen, eliminando en un 50% las emisiones de humo negro o también conocido como hollín.
- No contiene hidrocarburos aromáticos como el benceno que son cancerígenos.
- Se puede transportar sin peligro debido a que su punto de inflamación es alto (Vicente, 2012, pág. 72).

#### 1.4.14. JATROPHA CURCAS

##### 1.4.14.1. Definición

**Tabla 1.11** Características de la semilla de *Jatropha Curcas*

Descripción	Características
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Género	<i>Jatropha</i>
Especie	<i>Curcas</i>
Origen	Nativa de México y Centroamérica, pero también crece en la mayoría de los países de Sudamérica tropicales y subtropicales, en el Sureste de Asia, la India y en la mayor parte del continente africano. Oleaginosa de tamaño arbustivo, existiendo más de 3500 especies que están agrupadas en 210 géneros
Nombre común	Ecuador: Piñón blanco o piñón de leche México: Nuez purgante, tempate, piñón o piñoncillo. Inglaterra: Purging nut, Costa Rica: Tempate India: Seemai Kattamanakku, Portugal: Habel meluk Regiones de América: Piñón botija, yupur, barbasco, coquito
Edad promedio de vida	De 45 a 50 años
Tamaño del arbusto	entre 2 a 5 metros
Temperatura de la región	Entre 18 °C y más de 28 °C
Humedad del aire	Alta
Requerimiento de lluvia por año	300 a 2000 mm tomando en cuenta que de 300 a 600 mm requiere una alta humedad en el aire
Tipo de suelo	Suelos pobres, pedregosos, alcalinos y/o arenosos
Altura del lugar de cultivo	De 0 hasta los 1800 m sobre el nivel del mar
Aplicaciones	Planta medicinal, Abono orgánico, leña fertilizante, producción de jabón insecticidas, forraje, cera, cosméticos, pesticidas, fármacos anticancerígenos, cerca vivo y Biodiesel
Fructificación	Anual durante 30 años
Beneficios	Conservación de agua, recuperación de suelos, control de erosión
Valor energético	13,647 kcal/g
Rendimiento	De 6 a 8 Toneladas métricas por hectárea cultivada

(Vargas, 2012, págs. 95-98)

(Conveagro, Agriterra, 2009) afirma: “La *jatropha* o piñón blanco pertenece a la familia Euphorbiaceae. Es un arbusto grande, de crecimiento rápido, cuya altura normal es de dos hasta tres metros, pero puede alcanzar a ocho metros en condiciones especiales” (p.36). “*Jatropha Curcas* viene del griego *iatros* que

significa médico y trophé que significa alimentos” (Vargas, 2012, pág. 95). Es una planta utilizada para más de 150 usos en prácticas curativas, pero tanto sus hojas como sus frutos son tóxicos tanto para animales como humanos, el aceite proveniente de sus semillas y frutos puede ser transformado en biodiésel mediante un proceso adecuado, en la tabla 1.11 se describe algunas características de la planta del piñón.

#### **1.4.14.2. Proceso de la extracción de aceite de *Jatropha Curcas***

- Cosecha del fruto: se debe de recolectar frutos que hayan alcanzado la madurez, ya que el rendimiento de aceite de los frutos de color es muy bajo, es recomendable recolectar frutos de color verde amarillento, amarillo, amarillo con manchas café y café oscuro (INIAP, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, IICA, GIZ , 2013).
- Selección de frutos: Los frutos que se seleccionan para la obtención de semilla destinada a la siembra de piñón, deben tener las siguientes características: frutos de color amarillo intenso a café oscuro o negro, frutos totalmente maduros, frutos grandes en los cuales hay de 3 a 4 semillas en cada uno, los mejores frutos son los que se encuentran en la parte media del árbol, se escoge los frutos que están libres de daños producidos por plagas o enfermedades.
- Despulpado del fruto para extracción de la semilla: El despulpado del fruto se puede realizarse cuando el fruto del piñón este fresco es decir recién cosechado.
- Tratamiento de la semilla: Las semillas debidamente seleccionadas deben ser limpiadas eliminando de restos de cáscara, tierra, partículas metálicas y despojos de fruta.
- Triturado de la semilla: Las semillas son trituradas rompiendo la capa exterior y obteniendo pequeñas escamas de material.
- Cocción de las semillas: Mediante una herramienta de cocción, se hace que se eleve la temperatura de las semillas provocando el rompimiento de las células aceitosas, teniendo en cuenta el valor de temperatura a la cual se expone para no convertir los triglicéridos en ácidos grasos libres.

- Comprimido de las semillas: mediante un tornillo se comprime la masa de semillas trituradas y cocidas, esta masa es prensada por un tubo perforado que permite la extracción del aceite.
- Extracción del aceite restante en la masa mediante el solvente n-hexano: Es un método de extracción por medio de un disolvente, el cual extrae el aceite contenido en la masa restante de la semilla, este solvente es el hexano, que al combinarse con el aceite forma una mezcla llamada miscela, para poder separar el solvente y el aceite se lo realiza mediante destilación (Nolasco Guzman, 2015, pág. 4).

#### 1.4.14.3. Propiedades fisicoquímicas del aceite

El aceite que se obtiene tiene un color característico amarillo claro, no tiene olor y su sabor es parecido al del aceite de nuez, contiene 21% de ácidos grasos saturados y un 79% ácidos insaturados (Castillo Ospina, Velásquez, & Cuartas, 2011, pág. 37).

El aceite extraído de la semilla del piñón contiene las siguientes propiedades fisicoquímicas.

**Tabla 1.12** Propiedades fisicoquímicas del aceite de *Jatropha Curcas*

Propiedad	Unidad de medida	Aceite de <i>Jatropha Curcas</i>
Densidad	g/ml	0,920
Viscosidad cinemática a 25 °C	mm <sup>2</sup> /s	10,9459
Índice de acidez	mgKOH/g	2,0741
Capacidad calorífica	MJ/kg	39,7
Punto de llamarada	°C	240
Punto de nube	°C	16

(Castillo Ospina, Velásquez, & Cuartas, 2011, pág. 37)

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA

Análisis experimental de las emisiones de partículas de un motor diésel con combustible extraído de la jatropha curcas.

### 2.2. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

Para la realización de la investigación se empleará lo siguiente:

#### 2.2.1. OPACÍMETRO BRAIN BEE OPA-100

El Opacímetro BRAIN BEE es un instrumento con el objetivo de medir la opacidad de los vehículos con motor a compresión, permite valorar la cantidad de hidrocarburos sin quemar y, por lo tanto, deducir la eficacia de la bomba de inyección (Chanatasig, Arcentales, & Erazo, 2014, pág. 5). La figura 2.1 muestra al opacímetro Brain Bee OPA-100 en tres vistas diferentes y en las cuales se aprecia las diferentes entradas de conexiones tanto en el panel delantero como en el panel posterior.



**Figura 2.1** Opacímetro Brain Bee OPA-100  
(Sp.A, pág. 15)

El opacímetro, está constituido con una bomba de vacío, la cual lleva los gases de escape por una manguera de muestra introducida en el escape del vehículo y de ahí al opacímetro, la muestra de gas de escape llega al interior del analizador, en donde una emisión de luz infrarroja es proyectada a través de la muestra de gases del escape.

Una vez que se ha ingresado al software, se ingresa los datos del vehículo al cual se realizará la prueba. Una vez que se ha ingresado los parámetros, se aguarda hasta que el equipo indique que se debe acelerar para realizar las diferentes pruebas, en intervalos que van desde ralentí, 1500, 2000 y 2500 RPM, la figura 2.2 muestra todos los equipos conectados y listos para la medición de opacidad.



**Figura 2.2** Opacímetro Brain Bee OPA-100 conectado y listo para realizar mediciones de opacidad al vehículo Amarok

#### **2.2.1.1. Características técnicas del opacímetro Brain Bee OPA-100**

El opacímetro Brain Bee OPA-100 es de procedencia italiana en la tabla se muestra sus principales características técnicas.

Otras características del opacímetro Brain bee se las enumera a continuación:

- Fuente luminosa de diodo LED verde

- Receptor de luz de fotodiodo
- Control automático de presión de la cámara de medición
- Estabilización de temperatura de la cámara de medición a 90 °C
- Control automático del sistema de limpieza de cristales
- Estabilización de la temperatura ambiente interna
- Calibrado automático
- Autocero automático
- Tiempo de calentamiento a 20 °C en 5 minutos
- Control automático de cristales sucios
- Recepción de impulsos cuentarevoluciones por cable o por radio sin cables
- Entrada de temperatura del aceite PT 100 o por radio sin cables
- Conexión serial RS 232
- Alimentación de 12 voltios CC
- Consumo 1A CC, 5A CC con calentamiento encendido
- Temperatura de funcionamiento de 5 a 40 °C
- Dimensión 200 x 140 x 430 mm
- Peso de 5 kg

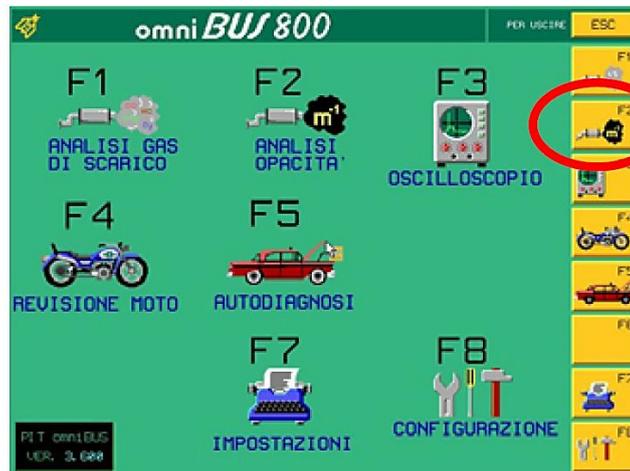
**Tabla 2.1** Características técnicas Opacímetro Brain Bee OPA-100

<b>Característica</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medida</b>
Opacidad	%	0 - 99.9
Opacidad	m <sup>-1</sup>	0 - 9.99
Cuenta revoluciones	rpm	300 - 9990
Temperatura aceite	°C	20 a 150
Temperatura humo	°C	20 - 400

(Sp.A, pág. 17)

### **2.2.1.2. Procedimiento de las mediciones de opacidad**

Una vez dentro del menú principal pulsar F2 para ingresar al análisis de opacidad tal como se observa en la figura 3.3.



**Figura 2.3** Interfaz para ingresar medición de opacidad  
(Sp.A, pág. 29)

Para tener lectura de valor de humo en modo continuo se debe pulsar F1 desde el menú principal tal como lo realiza en la figura 2. 4.

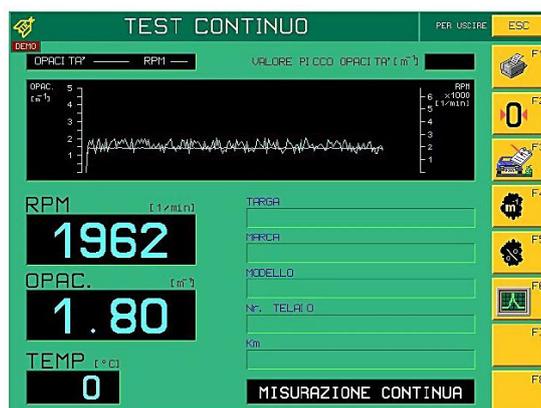


**Figura 2.4** Interfaz para iniciar medición de humos  
(Sp.A, pág. 30)

La lectura de la medición de humos solo puede efectuarse después de haberse finalizado el periodo de precalentamiento y de los pasos de auto calibrado, en la figura 2.5 se visualizan los parámetros de:

- Valor de opacidad
- Temperatura del aceite del motor
- Datos vehículo
- Gráfico de la evolución del valor de la opacidad

- Gráfico de la evolución de las revoluciones del motor (Sp.A, pág. 30)



**Figura 2.5** Interfaz test continuo medición de humos (Sp.A, pág. 30)

## 2.2.2. VEHÍCULO DE PRUEBA

### 2.2.2.1. Características

El vehículo que se utilizó para la medición de pruebas de opacidad es una camioneta Volkswagen Amarok 2014, la cual pertenece a la carrera de Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte, en la tabla 2.1 se puede observar las características técnicas del vehículo:

**Tabla 2.2** Especificaciones técnicas del motor de camioneta Volkswagen Amarok 2014

Característica técnica	Medida
<b>Motor</b>	
Modelo del motor	2014
Combustible	Diésel
Tipo y Número de cilindros	4 cilindros en línea
Tipo de alimentación del combustible	Inyección directa common rail turbo intercooler
Cilindrada Máxima	1968 cm <sup>3</sup>
Torque	295 lb.ft a 1500 rpm
Potencia	180 hp a 4000 rpm
Numero de válvulas	16
<b>Performance</b>	
Rendimiento ciudad	10,5 km/l
Rendimiento ruta	14,4 km/l
Rendimiento mixto	13,3 km/l
<b>Transmisión y chasis</b>	
Frenos	Discos ventilados delantero- tambor traseros
Suspensión delantera	Independiente con doble horquilla con resortes helicoidales y barra estabilizadora
Suspensión trasera	Eje rígido con ballesta y amortiguadores
Motor- Tracción	Delantero-integral permanente
Transmisión	Manual de 6 velocidades
Dirección asistida	hidráulica

(AG, 2017, pág. 324)

## 2.2.3. DIÉSEL PREMIUM

### 2.2.3.1. Características

El combustible diésel premium es el gasóleo distribuido comúnmente en todos los centros de abastecimiento de combustible del Ecuador, este será utilizado en una segunda fase en la medición de opacidad, estos datos servirán para contrastar con los datos de emisiones utilizando biocombustible B5 a base piñón.

La tabla 2.2 especifica las propiedades que debe tener un combustible o biocombustible según la normalización INEN.

**Tabla 2.3** Requisitos del combustible diésel premium comercializado en Ecuador

Propiedades	Norma	Unidades	Limite	
			Mínimo	Máximo
Índice de cetano	ASTM D613		45	
Viscosidad cinemática a 40 °C	NTE INEN810	mm <sup>2</sup> /s	2	5
Azufre	ASTM D4294 ASTM D5453 ASTM D2622	mg/kg = ppm		10
Contenido de poliaromáticos totales, $w_a$	ASTM D2425 NTE INEN2252	%		11
Destilación ASTM T90	NTE INEN926	°C		360
Punto de inflamación	NTE INEN1493 Procedimiento A	°C	51	
W contenido de residuo carbonoso sobre el 10% de residuo de destilación	ASTM D4530 NTE INEN1491	%		0,15
Agua y sedimentos	ASTM D6304	Ppm		50
Contenido de biodiésel	EN 14078	%		5
Corrosión a la lámina de cobre	NTE INEN927	Clasificación		No 3
W Contenido de cenizas	NTE INEN1492	%		0,01

(Normalización, 2013, pág. 1)

## 2.2.4. BIODIÉSEL EXTRAÍDO DEL PIÑÓN

### 2.2.4.1. Proceso de transesterificación del aceite de jatropha curcas

Como primer paso para el proceso de transesterificación se procede a calcular las cantidades de reactivos que intervienen en la reacción, basado en el artículo, (Castillo Ospina, Velásquez, & Cuartas, 2011), con el cual se obtiene que para 1 litro de Aceite de jatropha curcas se debe de utilizar 200 cm<sup>3</sup> de metóxido, y que para la obtención de este se debe mezclar 5 gramos de hidróxido de Sodio en 200 cm<sup>3</sup> metanol con una pureza del 99%.

Una vez obtenidas las cantidades de reactivos se procede a disolver el hidróxido de sodio en el metanol con un agitador dentro de un envase de vidrio como se mira en la figura 17, debido a que la sosa caústica no se disuelve con facilidad se debe de agitar durante un tiempo prolongado hasta que no se observe la formación de gránulos en el alcohol metílico, tal como se puede observar en la figura 2.1.



**Figura 2.6** Obtención del metóxido

Finalizado el proceso de disolución se procede a medir el Ph basado en las normas ASTM D 803-93, 856-91, 465-92 del ítem 5.2, el cual menciona que si la disolución tiene un valor de Ph menor a 11 con lo cual la mezcla puede ser utilizada para el proceso de transesterificación en la obtención de biodiésel, tal como se aprecia en la figura 2.2, seguido a esto se vierte el de aceite y el metóxido en el recipiente del reactor, una vez acabado de verter los dos elementos se tapa el reactor y se enciende tanto el agitador el cual gira a 700 revoluciones por minuto, como el calentador que se encuentra programado de 55 a 65 grados centígrados de temperatura.



**Figura 2.7** Medición de PH al metóxido

Después de aproximadamente 90 minutos de que el reactor ha trabajado se detiene tanto el agitador como el calentador y se procede a dejar que se enfríe durante varias horas, luego se retira la mezcla en un recipiente hasta que se observe las dos fases; una aceitosa en la parte superior la cual contiene triglicéridos libres y esteres etílicos sin reaccionar (biodiésel), mientras la fase inferior es acuosa y está formada de glicerina y metanol residual, tal como se muestra en la figura 2.3.



**Figura 2.8** Finalización del proceso de esterificación en el reactor

Se deja reposar por varios días la mezcla, para luego observar un contraste mayor en las dos fases, como se muestra en la figura 2.4, posterior a esto se procede a retirar el biodiésel y a calentarlo a unos 65 grados centígrados para eliminar el excedente de metanol.



**Figura 2.9** Biodiésel reposado en el que se observa dos fases

Se debe lavar el biodiésel obtenido, para poder quitar restos de glicerol, hidróxido de sodio, material saponificado y excedente de metanol, este proceso consiste en rociar agua destilada sobre él biodiésel, tal como se observa en la figura 2.5, la cantidad de agua roseada debe ser la cuarta parte del biodiesel según el artículo (Castillo Ospina, Velásquez, & Cuartas, 2011); el agua se concentra en el fondo del recipiente y el biodiésel en la parte superior, se procede a retirar el biodiésel y se repite este proceso de tres a cuatro veces cada treinta minutos, seguido a esto se procede a secar el biodiésel en un recipiente abierto a una temperatura aproximada de 110 grados centígrados hasta que no se observe vapor del biocombustible para luego dejarlo enfriar a temperatura ambiente.



**Figura 2.10** Lavado del biodiésel a base de piñón

Para la preparación de biodiésel B5 se debe de mezclar 5% en volumen de aceite de piñón obtenido del proceso anterior con 95% de diésel premium, este combustible se compra en el distribuidor de combustible ubicado en el sector del olivo, en la figura 2.6 se observa los instrumentos de medición tanto para el diésel como para el biodiésel, en este caso se preparó 7000 ml de biodiésel B5 utilizando 350 ml de biodiésel y 6650 ml de diésel fósil.



**Figura 2.11** Biodiésel a base de piñón y diésel premium

Del biodiésel B5 obtenido se envía una muestra de 1000 ml al laboratorio de petróleos de la facultad de ingeniería Química de la Escuela Politécnica Nacional para obtener las propiedades fisicoquímicas, los resultados obtenidos del análisis de caracterización están dentro de los valores requeridos para un biodiésel como se muestra en la tabla 2.3.

**Tabla 2.4** Caracterización del biodiésel B5 a base de piñón

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Norma requisito	Valor obtenido
Punto de inflamación	ASTM D93 – 16a	°C	51 mín.	75
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	ppm	500max.	248.1
Corrosión lámina de cobre	ASTM D130 - 12		N° 3 max.	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)		45 mín	53.0
Ensayo de destilación Temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	360 max.	352
Residuo de carbón conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0.15 max.	0.017
Contenido de cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0.01 max.	0.025
Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445 – 15 a	mm <sup>2</sup> /s	2.0 a 5.0	4.573
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 max.	<0.05

(LACBAL, 2018)

## 2.2.5. MEDICIÓN DE OPACIDAD CON BIODIÉSEL B5

### 2.2.5.1. Diagnóstico del vehículo

Antes de cualquier medición se procede a verificar que el vehículo se encuentre funcionando normalmente, en primer lugar se sometió el motor y sus sistemas a un diagnóstico visual, el cual consiste en verificar niveles de fluido y observar que no exista fuga, también se verifica que no exista ruidos extraños; como segundo paso se procede llevar la temperatura de funcionamiento del motor a la sugerida por el fabricante, posteriormente se procede a diagnosticar fallas de sensores y actuadores por medio de un escaneado el cual generó cero códigos de fallas.

### 2.2.5.2. Instalación de equipos

Como segundo paso para la medición de opacidad, se conecta el opacímetro Brain Bee OPA-100 al módulo y este último al ordenador, en el ordenador debe estar previamente instalado el software Pit1wi permitiendo tener control en la

manipulación de los equipos desde el ordenador, luego se introduce la sonda que va desde el opacímetro al escape del vehículo y se procede a calentar el equipo hasta que el programa permita realizar mediciones.

### 2.2.6. MEDICIÓN DE LA OPACIDAD CON BIODIÉSEL B5 A BASE DE PIÑÓN

El opacímetro, es un instrumento que sirve para cuantificar la cantidad del hollín que emiten los motores a compresión, está estructurado principalmente por tres componentes: cámara de medición, analizador y una cuenta revoluciones.

Para la recolección de muestras se utiliza una sonda que se encuentra conectada a la cámara de medición, la sonda se introduce en la salida del escape, con este equipo se toman muestras parciales de los gases de escape, ya que sólo una parte de los gases ingresan por la sonda y la manguera hasta llegar al analizador, mientras que otra parte se pierde en el medio ambiente.

Los gases producidos por la combustión entran por la sonda y a través de un sensor mide la intensidad de la luz o también llamada turbiedad, luego el analizador calcula la densidad de las partículas y este valor puede ser entregado tanto como porcentaje de opacidad siendo 100% totalmente nublado y 0% totalmente claro o como un número equivalente denominado valor k que es el coeficiente de absorción luminosa también expresado como  $m^{-1}$ .

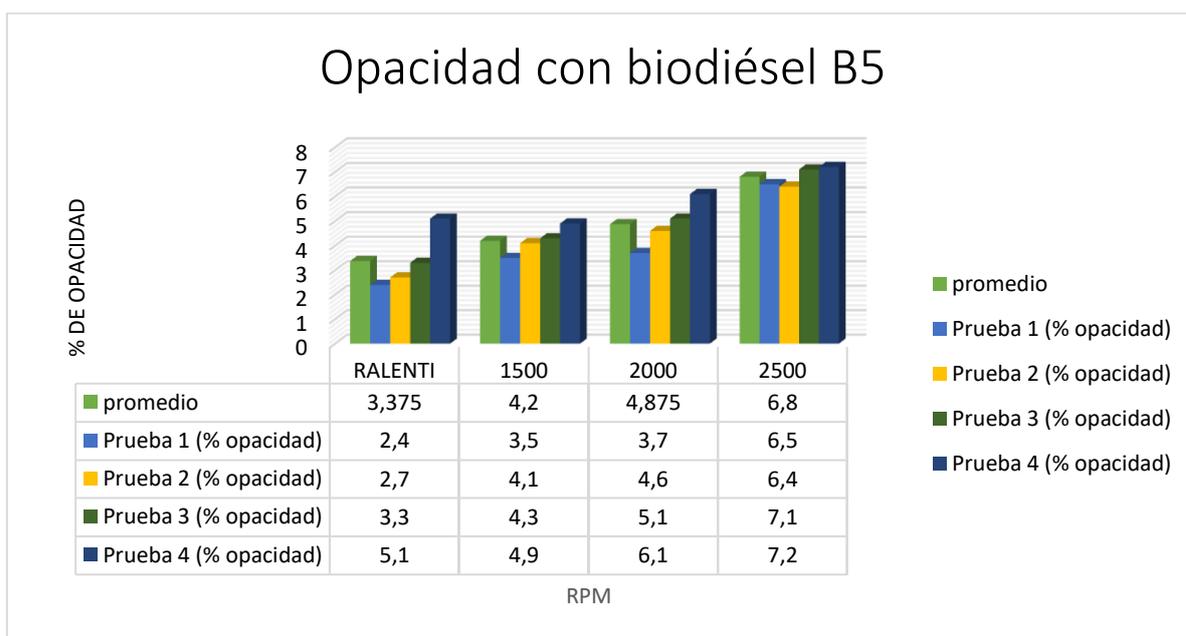
La opacidad es la capacidad que tienen las emisiones de escape a interferir el paso de un haz de luz en una frecuencia determinada, es decir con esto se puede medir el nivel de hollín que emite el motor por la combustión, en otras palabras, la opacidad es el nivel de oscuridad que emite el escape de un vehículo Diésel.

**Tabla 2.5** Resultados de las pruebas de opacidad usando biodiésel B5 a base de Piñón

RPM	Prueba 1 (% opacidad)	Prueba 2 (% opacidad)	Prueba 3 (% opacidad)	Prueba 4 (% opacidad)	promedio
RALENTÍ	2,4	2,7	3,3	5,1	3,375
1500	3,5	4,1	4,3	4,9	4,2
2000	3,7	4,6	5,1	6,1	4,875
2500	6,5	6,4	7,1	7,2	6,8

Para este paso previamente se sangra el diésel existente en el circuito de alimentación mediante la cañería de retorno, una vez que el tanque de combustible se encuentra vacío se llena con biodiésel B5 y se vuelve asegurar las cañerías del sistema de retorno; se decide realizar la medición tomando en

cuenta cuatro regímenes de giro del motor, una a ralentí que está dentro del rango de las 900 rpm luego a 1500 rpm, posteriormente a 2000 rpm y finalmente a 2500 rpm, se repite este procedimiento 4 veces, registrando las capturas de imagen que se genera para cada una de las mediciones. En la tabla 2.4 están tabulados los valores de la medición con biodiésel B5 a base de piñón en los diferentes regímenes. En la figura 2.7 se muestra la gráfica del régimen del motor (revoluciones por minuto) versus porcentaje de opacidad (%).



**Figura 2.12** Diagrama de los promedios de las cuatro pruebas de opacidad utilizando biodiésel B5 a base de piñón

### 2.2.6.1. Medición de consumo

Para determinar la diferencia de consumo de combustible se utiliza el valor de la duración de control de inyección, este dato se obtuvo con el scanner y la unidad de medida está dada en microsegundos, y al igual que en la medición de opacidad lo tomamos en cuatro diferentes regímenes del motor en ralentí, 1500 rpm, 2000 rpm y 2500 rpm, realizando la captura de los resultados en el mismo instante que se realizó para los de opacidad. En la tabla 2.5 se encuentran tabulados los valores de la duración de inyección de los inyectores 1 y 2 utilizando biodiésel B5.

**Tabla 2.6** Duración de la inyección en los inyectores 1,2,3 y 4 usando biodiésel B5

<b>RPM</b>	<b>Duración inyección 1(μs)</b>	<b>Duración inyección 2(μs)</b>
<b>Prueba 1</b>		
Ralentí	440,0	334,4
1500	441,6	335,6
2000	326,0	239,2
2500	275,2	231,2
<b>Prueba 2</b>		
Ralentí	423,2	358,4
1500	400,8	289,6
2000	312,0	239,0
2500	282,8	232,0
<b>Prueba 3</b>		
Ralentí	462,8	334,4
1500	382,0	283,2
2000	327,6	248,4
2500	282,4	225,2
<b>Prueba 4</b>		
Ralentí	430,0	357,6
1500	388,8	282,4
2000	310,8	236,4
2500	295,2	221,6
<b>Promedio </b>		
Ralentí	439	346,2
1500	403,3	297,7
2000	319,1	240,75
2500	283,9	227,5

## **2.2.7. MEDICIÓN DE OPACIDAD CON DIÉSEL PREMIUM**

### **2.2.7.1. Medición de la opacidad**

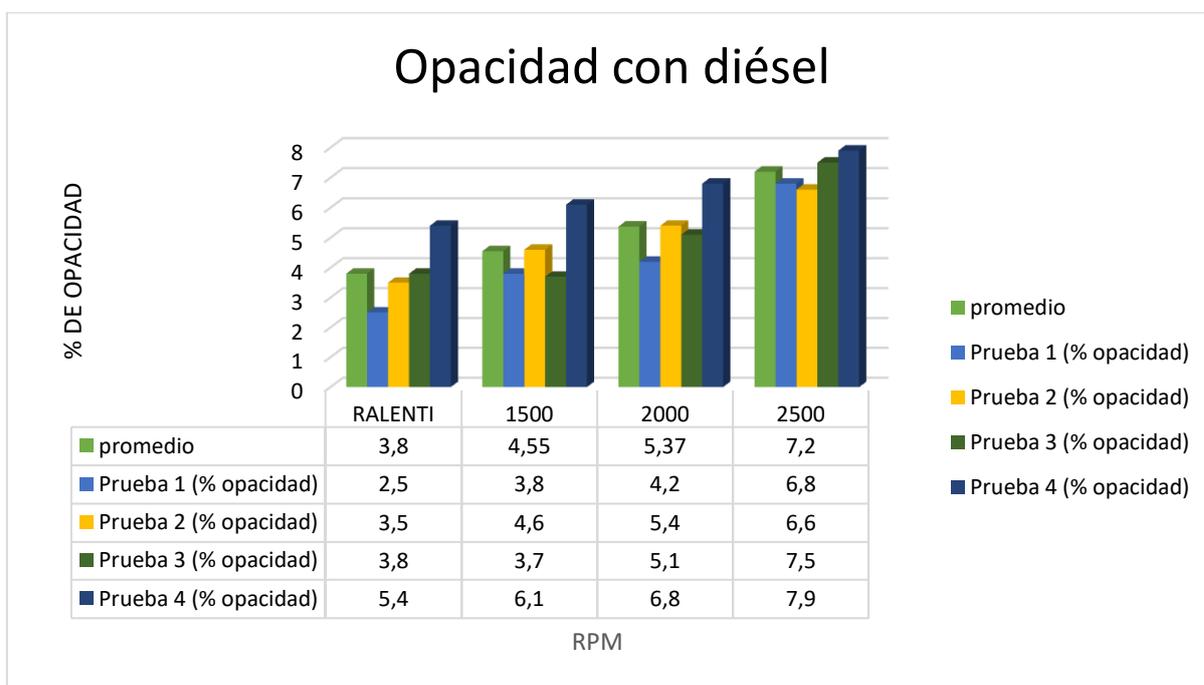
Debido a que el vehículo se encuentra a una temperatura óptima y lo equipos se encuentran conectados, se omite ciertos pasos que se realiza en la medición con biodiésel B5 y se procede a sangrar el biocombustible existente el sistema de inyección por medio de las cañerías de retorno.

De forma similar tomamos datos a cuatro regímenes en ralentí, 1500 rpm, 2000 rpm y 2500rpm, en la tabla 2.6 se encuentran tabulados los valores para las cuatro pruebas para los diferentes regímenes.

**Tabla 2.7** Resultados de las pruebas de opacidad usando diésel premium

RPM	Prueba 1 (% opacidad)	Prueba 2 (% opacidad)	Prueba 3 (% opacidad)	Prueba 4 (% opacidad)	promedio
RALENTI	2,5	3,5	3,8	5,4	3,8
1500	3,8	4,6	3,7	6,1	4,55
2000	4,2	5,4	5,1	6,8	5,37
2500	6,8	6,6	7,5	7,9	7,2

La figura 2.8 muestra la gráfica del régimen del motor (revoluciones por minuto) versus porcentaje de opacidad (%) usando diésel en el vehículo Volkswagen Amarok.

**Figura 2.13** Diagrama de los promedios de las cuatro pruebas de opacidad utilizando diésel premium

### 2.2.7.2. Medición de consumo

Al igual que con el biodiésel B5 para poder comparar el consumo de combustible se utilizó el dato del valor de la duración de inyección del inyector, que se lo obtiene con el scanner, el cual está registrado en la tabla 2.7.

**Tabla 2.8** Duración de la inyección en los inyectores 1,2,3 y 4 usando diésel premium

RPM	Duración inyección 1( $\mu$ s)	Duración inyección 2( $\mu$ s)
<b>Prueba 1</b>		
Ralentí	427,6	324,0
1500	311,6	279,6
2000	251,2	224,8
2500	347,6	221,2
<b>Prueba 2</b>		
Ralentí	462,0	358,8
1500	388,4	274,8
2000	251,2	224,8
2500	347,6	221,2
<b>Prueba 3</b>		
Ralentí	422,4	358,4
1500	296,0	274,8
2000	324,4	255,6
2500	286,4	221,2
<b>Prueba 4</b>		
Ralentí	465,6	333,2
1500	393,6	274,8
2000	324,0	253,2
2500	286,0	220,4
<b>Promedio</b>		
Ralentí	444,4	343,6
1500	347,4	276
2000	287,7	239,6
2500	316,9	221

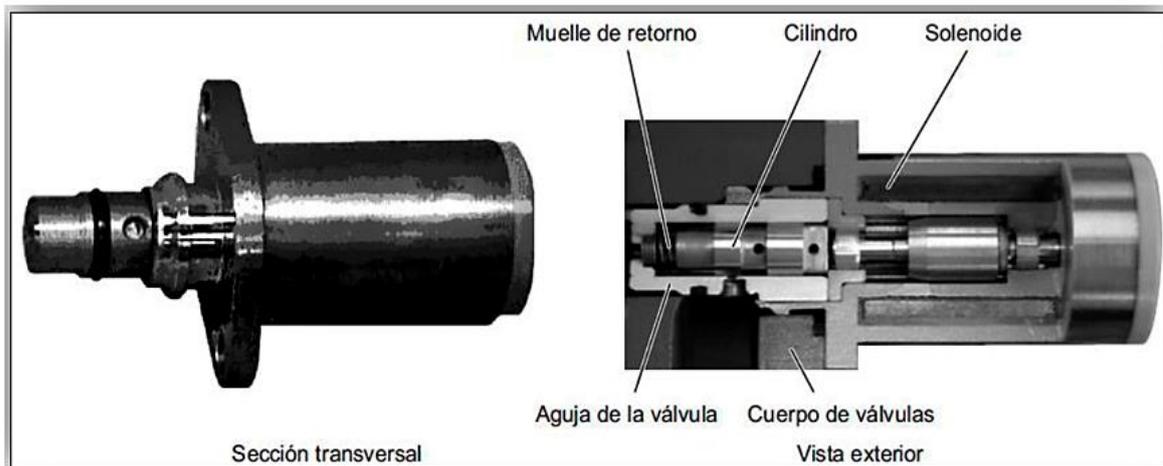
### 2.2.8. VÁLVULA DE CONTROL DE SUCCIÓN SCV

Es una válvula electromagnética de tipo solenoide lineal su función es la de regular la cantidad de volumen de flujo de combustible al embolo buzo, esto lo realiza controlando el tiempo de aplicación de corriente efectuada desde la ECU hacia la válvula, existen dos tipos de válvulas SCV la normalmente abierta en la cual la succión es máxima cuando la corriente aplicada es mínima y normalmente cerrada en la cual la succión es máxima cuando la corriente aplicada es máxima (Morán Vega & Passo Guamangote, 2014, pág. 17), la figura 2.14 muestra la válvula SCV en el vehículo de prueba.

**Figura 2.14** Ubicación de la válvula SCB en el vehículo Volkswagen Amarok

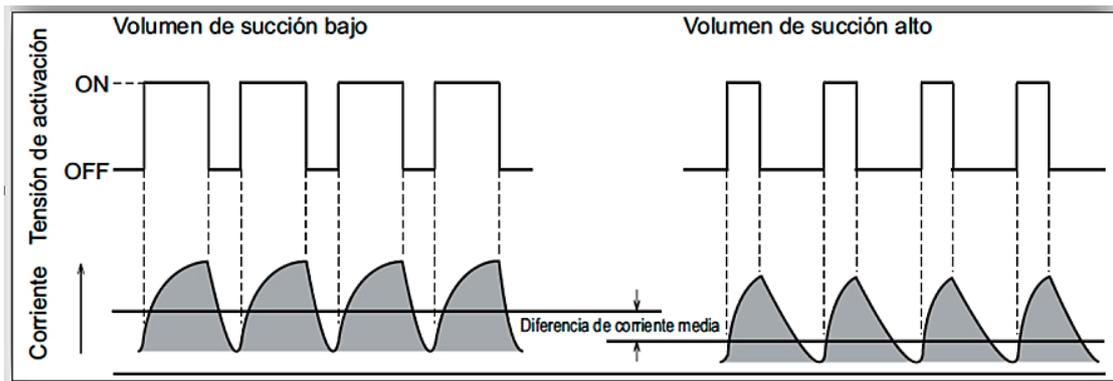
### 2.2.8.1. Funcionamiento y partes de la válvula SCV

El funcionamiento del inducido en conjunto con el tamaño de apertura del conducto del cilindro de la válvula varía el volumen de flujo de combustible, de esta manera controla el volumen de admisión necesario para elevar la presión requerida en la rampa y también disminuye el trabajo de actuación por parte de la bomba de suministro, la figura 2.14 muestra una válvula SCV normalmente abierta con sus partes (Arizaga Idrovo & Torres Ortiz, 2014, pág. 49).



**Figura 2.15** Válvula SCV y sus partes  
(Arizaga Idrovo & Torres Ortiz, 2014, pág. 21)

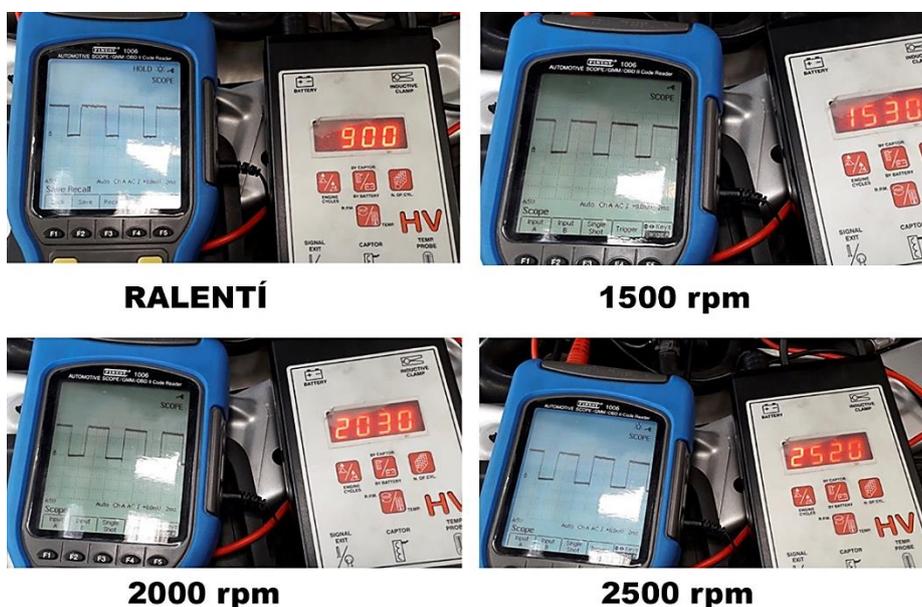
El funcionamiento de una válvula normalmente (NA) abierta funciona de manera inversa a la de la normalmente cerrada (NC), la válvula normalmente abierta se abre cuando no está excitada, cuando la duración de excitación de la válvula es corta la corriente que fluye por el solenoide es mínima entonces el cilindro retorna por la fuerza del muelle y la apertura de la SCV es grande, en consecuencia, el flujo de volumen de combustible aumenta. Cuando la duración de excitación de la válvula es larga, la corriente de que fluye por el solenoide es máxima entonces el cilindro se aprieta hacia afuera y la apertura de la SCV es pequeña en consecuencia el flujo de volumen de combustible disminuye, la figura 2.15 muestra lo expuesto anteriormente en forma gráfica.



**Figura 2.16** Forma de onda Válvula SCV normalmente abierta  
(Arizaga Idrovo & Torres Ortiz, 2014, pág. 21)

### 2.2.8.2. Medición de la válvula SCV en el vehículo de prueba

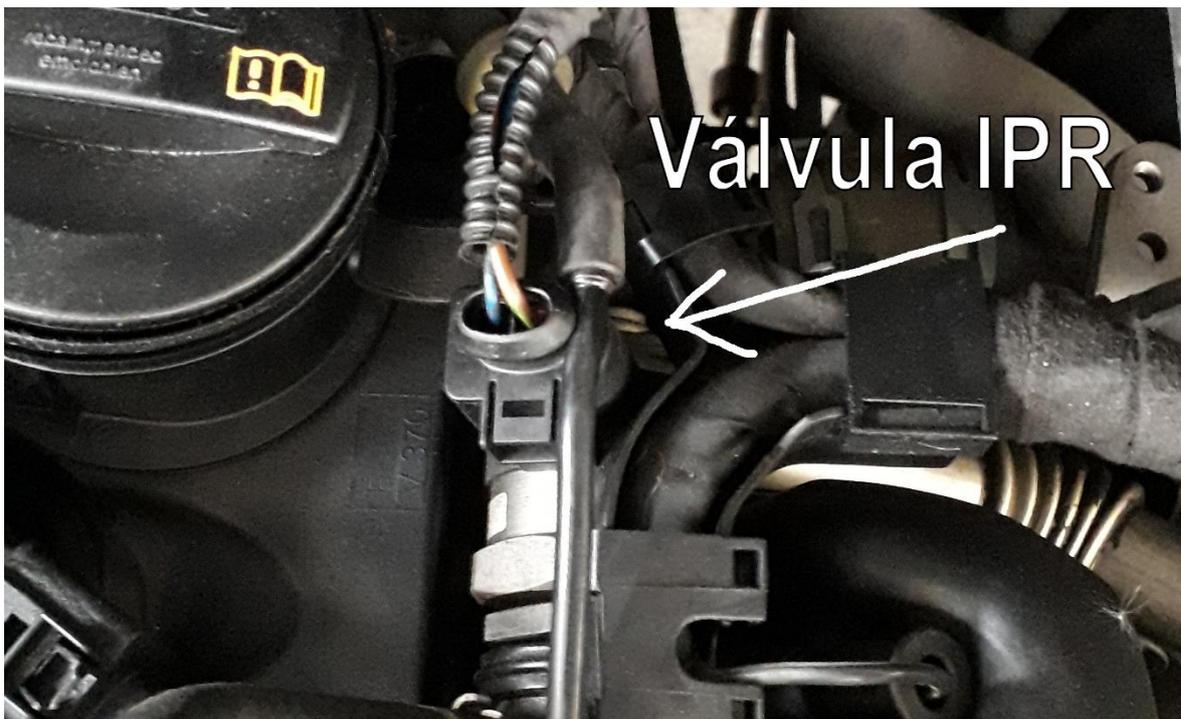
El proceso de medición se inicia detectando la válvula SCV en el sistema de inyección, la cual se encuentra en la bomba de alta presión, posee dos cables en su conector, uno de los cables da la señal y el otro es el de alimentación de 12 voltios; se conecta el cable rojo del osciloscopio a la señal de la válvula y el cable negro a masa, se realiza este procedimiento para 4 regímenes del motor a ralentí, 1500, 2000 y 2500 rpm y se captura las imágenes de las mediciones, al mismo tiempo se encuentra conectado un cuentarrevoluciones con el cual se verifica a que régimen está trabajando el motor, en la figura 2.16 están las tomas de las cuatro diferentes curvas generadas por la válvula SCV trabajando a diferente carga.



**Figura 2.17** Curvas generadas por la válvula SCV a 4 diferentes regímenes

### 2.2.9. VÁLVULA IPR

La válvula IPR es de tipo electromagnética la cual regula la presión de combustible, permite que la presión del combustible sea regulada mediante el drenaje del combustible hacia la cañería de retorno, por lo general la válvula IPR es de tipo normalmente abierta es decir que sin excitación o sin corriente está dejando drenar combustible hacia el retorno, trabaja en una frecuencia de 1000 Hz y un voltaje de valor igual a la de la batería del vehículo (Arizaga Idrovo & Torres Ortiz, 2014, pág. 16), la figura 2.18 muestra la ubicación de la válvula IPR en el vehículo de prueba.

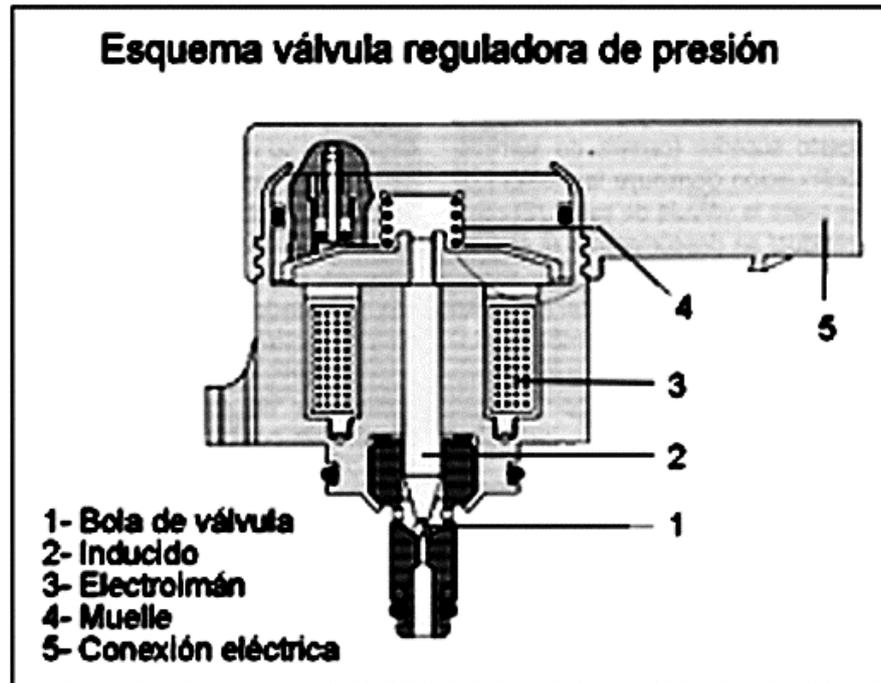


**Figura 2.18** Ubicación de la válvula IPR en el vehículo Volkswagen Amarok

#### 2.2.9.1. Funcionamiento partes de la válvula IPR

La válvula IPR está conformada por un cuerpo de metal permitiendo el acoplamiento en el riel común, interiormente se encuentra un inducido que presiona un rodete contra el asiento de estanqueidad, la regulación de presión del rodete permite o no la comunicación entre el circuito de alta y baja presión de combustible, el inducido está controlado por un resorte gobernado por la excitación que ejerce sobre este un electroimán al recibir corriente (Tigre

Sangurima & Villa Cayambe, 2015, pág. 17), la figura 2.19 muestra la válvula IPR con sus principales partes.

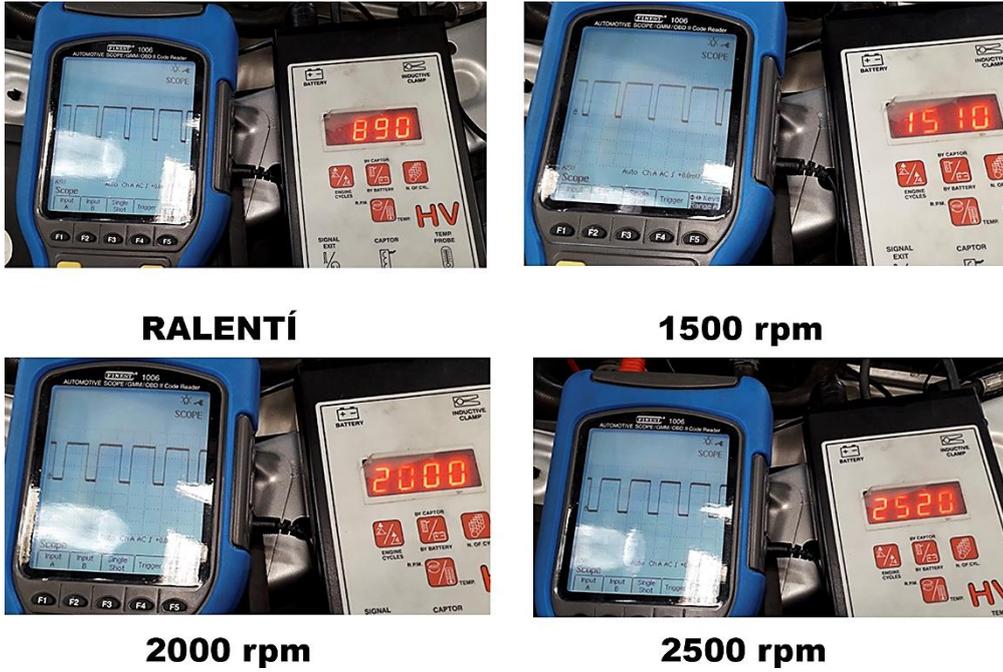


**Figura 2.19** Válvula IPR con sus principales partes

La forma de trabajo es semejante al de la válvula SCV tal como se muestra en la figura 2.15 es decir cuando la duración de excitación de la válvula es larga, la corriente que fluye por el electroimán es máxima entonces la bola aprieta hacia el asiento de estanqueidad y la apertura de la IPR es pequeña en consecuencia el flujo de volumen de combustible disminuye y viceversa.

#### **2.2.9.2. Medición de la válvula IPR en el vehículo de prueba**

El proceso de medición se inicia detectando la válvula IPR en el sistema de inyección del vehículo Volkswagen Amarok, la cual se encuentra en un extremo del riel común, al igual que la válvula SCV posee dos cables en su conector, uno de los cables da la señal y el otro es el de alimentación de 12 voltios; se conecta el cable rojo del osciloscopio a la señal de la válvula y el cable negro a masa, se realiza este procedimiento para 4 regímenes del motor a ralentí, 1500, 2000 y 2500 rpm y se captura las imágenes de las mediciones, también se encuentra conectado el cuentarrevoluciones con el cual se verifica a que régimen se está trabajando, en la figura 2.20 están las tomas de las cuatro diferentes curvas generadas por la válvula IPR trabajando a diferente carga.



**Figura 2.20** Curvas generadas por la válvula IPR a 4 diferentes regímenes

Una vez realizadas las mediciones con osciloscopio se observa que el comportamiento de las curvas tanto en la válvula IPR como en la válvula SCV es similar disminuyendo el porcentaje de trabajo cuando existe mayor carga.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL BIODIÉSEL Y DIÉSEL PREMIUM

En este capítulo se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos de la medición de opacidad utilizando diésel premium y biodiésel a base de piñón en mezcla B5 con esto se sabrá qué porcentaje varió tanto en emisiones como en consumo de combustible; también se analizará las propiedades fisicoquímicas entre los dos combustibles, por otra parte, se hará un análisis en el desempeño y funcionamiento de las válvulas SCV e IPR al funcionar con los dos tipos de combustibles.

**Tabla 3.1** Comparación de valores de propiedades fisicoquímicas entre biodiésel B5 a base de piñón, diésel 2 y diésel premium

Propiedad	Norma ASTM	Unidad	Biodiésel B5 (piñón)	Diésel Premium
Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	75	51
Contenido de azufre	ASTM D4294 - 16	ppm	248.1	500
Corrosión lámina de cobre	ASTM D130 - 12		1A	1A
Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)		53,0	45
Ensayo de destilación Temperatura del 90%	ASTM D86 - 15	°C	352	360
Residuo de carbón conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530 - 15	%	0,017	0,01
Contenido de cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0,025	0,01
Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445 - 15 a	mm <sup>2</sup> /s	4,573	5,0
Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	<0,05	0,05
Poder calorífico		kWh/gal	10,3	11,8

(LACBAL, 2018) (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013)

Al comparar los valores de la caracterización de los dos tipos de combustibles que se muestran en la tabla 3.1, se puede observar, que únicamente el valor de la

propiedad de contenido de cenizas para el biodiésel B5 está fuera del rango requerido por la norma; también se puede verificar que ciertas propiedades como corrosión a la lámina de cobre, agua y sedimentos y residuo de carbono tiene un valor relativamente igual para los tres combustibles, pero en cambio las propiedades de punto de inflamación, contenido de azufre, índice de cetano y viscosidad cinemática en el biodiésel B5 tiene valores favorables a la norma que de forma general ayudan a una mejor combustión dentro de los motores a compresión y una disminución de emisiones al medio ambiente.

- La propiedad corrosión a la lámina de cobre tiene un valor 1A lo que significa que no provoca corrosión en ningún elemento del sistema de inyección; al igual que el diésel premium el biodiésel B5 tiene un valor de agua y sedimentos menor a 0,05 lo que ayuda a que no se pueda provocar separación de fases en la mezcla al formar el biodiésel y tampoco que contenga microorganismos que degraden el mismo
- EL valor del contenido de cenizas el incremento de esto puede perjudicar el funcionamiento de los dispositivos de postratamiento de los gases de escape como son: filtros de partículas y catalizadores;
- El contenido de azufre disminuye de 500 ppm a 248.1 ppm al utilizar biodiésel a base de piñón mezcla B5, esto ayuda a minorar la formación de óxidos de azufre que al reaccionar con moléculas de vapor de agua forma ácido sulfúrico o al reaccionar con moléculas de hidrógeno crean sulfuros de hidrógeno, estos compuestos producen un desgaste corrosivo deteriorando las zonas de baja temperatura de los pistones y camisas de cilindro, desgaste corrosivo por altas temperatura en componentes como: asientos de válvulas, válvulas de escape y zonas del pistón, la lubricidad no se ve afectada debido a la disminución de azufre en el biocombustible ya que está dentro de la norma ASTM D975 y EN 590 la cuál especifica que para uso de un combustible en carretera este debe contener menos de un 0.05 % de azufre o lo que es menor a 500ppm, y si se usa un combustible con lubricidad baja o desconocida, se debe de usar aditivos en el combustible.

- El índice de cetano en el biodiésel es de 53 y el del diésel premium de 45 incrementándose en un 15 % en el biocombustible, esto es beneficioso para el motor ya que se obtiene más átomos de oxígeno por molécula de combustible y esto ayuda a mejorar la combustión, tiene relación con el tiempo del intervalo de encendido, si el índice de cetano es alto, la combustión es de buena calidad, la ignición es rápida, con un quemado total y uniforme, en cambio si el número de cetano es bajo, la ignición se retrasa y en general la combustión no es tan eficiente.
- El punto de inflamación del biodiésel es de 75 °C y el del diésel 51 °C siendo un 32 % mayor la temperatura de encendido del combustible en la cámara cuando se usa biodiésel B5, esto ayuda a que la combustión sea de buena calidad con una mejor quema de los hidrocarburos y menor emisión de hollín.

### 3.2. ANÁLISIS ENTRE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD

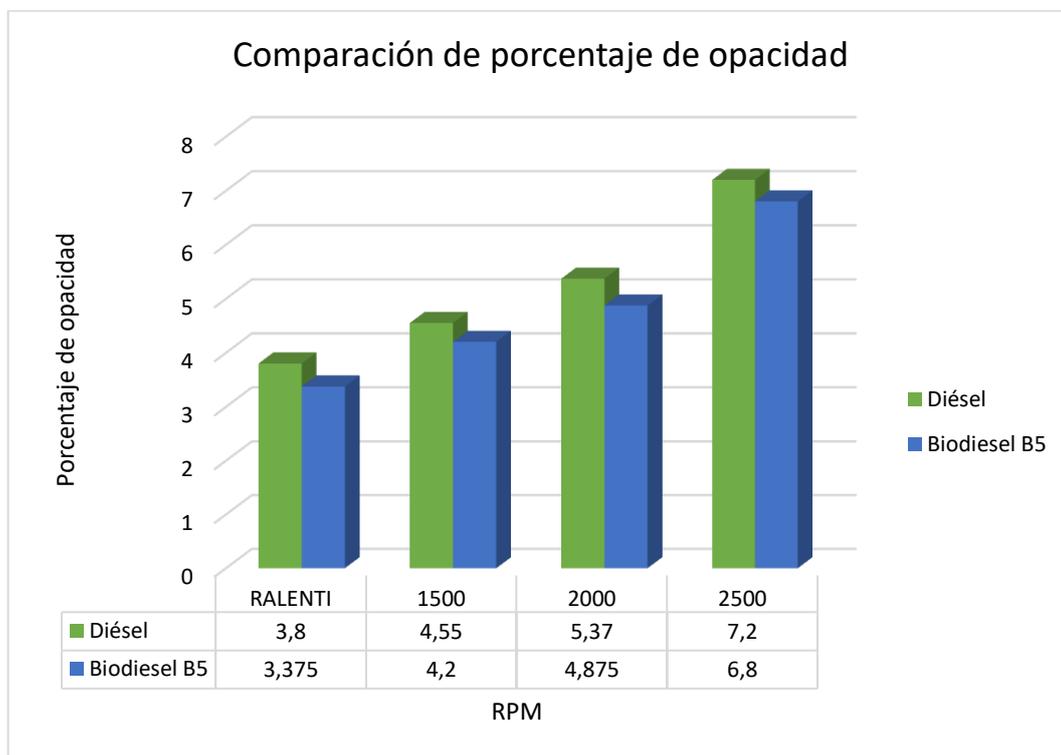
La comparación de los resultados de medición de opacidad entre el uso de diésel premium y biodiésel B5 a base de piñón en una camioneta Volkswagen Amarok indica que el motor al combustionar con biodiesel emite menos hollín que al consumir diésel premium, es decir que el porcentaje de opacidad es menor con biodiesel B5 al porcentaje de opacidad del diésel fósil, en la tabla 3.2 se observa los valores promedio tabulados para los diferentes regímenes de giro del motor, y el valor promedio del porcentaje total de opacidad.

**Tabla 3.2** Valores promedio de opacidad de biodiésel B5 a base de piñón y diésel premium

<b>RPM</b>	<b>Diésel</b>	<b>Biodiésel B5</b>
RALENTI	3,8	3,375
1500	4,55	4,2
2000	5,37	4,875
2500	7,2	6,8
Promedio	5,23	4,8125

En la figura 3.1 se observa que la producción de hollín es mayor cuando se usa diésel premium que cuando se utiliza biodiésel y que a mayores revoluciones del motor la opacidad aumenta en ambos casos, el porcentaje de disminución de

opacidad del promedio es de aproximadamente 8 % menos cuando se utiliza biodiésel B5.

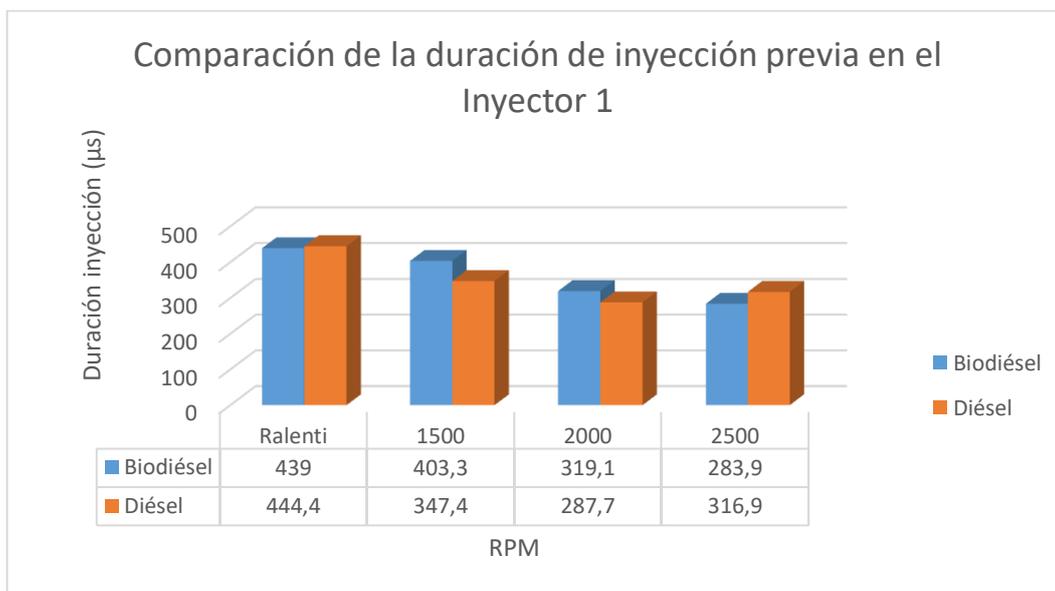


**Figura 3.1** Diagrama comparativo entre los promedios de opacidad utilizando biodiésel B5 y diésel premium

### 3.3. ANÁLISIS DE LAS MEDICIONES DE LA DURACIÓN DE INYECCIÓN

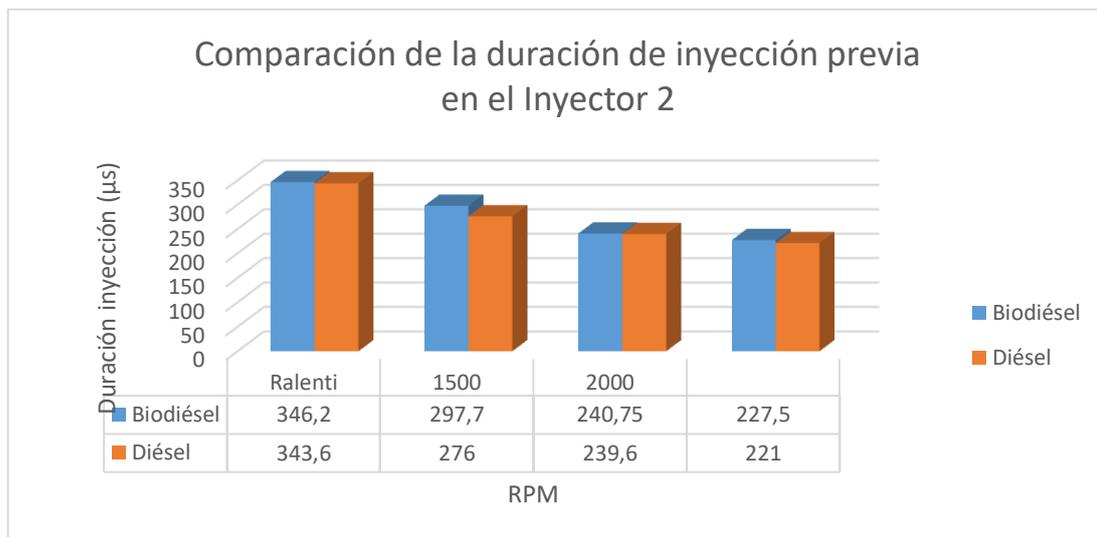
De la figura 3.2 se deduce, que la duración de inyección para el biodiésel se comporta de tal forma que disminuye conforme aumenta el grado de carga, también determina que el valor de duración de inyección para el inyector 1 es ligeramente menor cuando se usa biodiésel B5 en regímenes de motor a ralentí y a 2500 rpm, pero en cambio a 1500 rpm y 2000 rpm la duración de inyección es mayor cuando se usa biodiésel B5, en promedio el tiempo de la duración de inyección del inyector 1 es de 361.325  $\mu$ s cuando se usa biodiésel B5 y 349.1  $\mu$ s cuando opera con diésel fósil, esto se debe a que la combustión necesita más biodiésel B5 debido a que el poder calórico de este combustible es menor que el del diésel fósil, de esta manera se concluye que el consumo de combustible para

el inyector 1 es mayor cuando se utiliza biodiésel B5 aproximadamente un 3.38 % más que cuando se utiliza diésel.



**Figura 3.2** Diagrama comparativo entre los promedios de la duración de inyección utilizando biodiésel B5 y diésel premium

El diagrama de la figura 3.3 muestra que la duración de inyección para el inyector 2 se comporta de forma similar para los dos combustibles disminuyendo conforme aumenta el grado de carga, también determina que el valor de la duración de inyección siempre es mayor al usar biodiésel B5 ya sea que el motor se encuentre operando a cualquier régimen de motor; el promedio de la duración al usar biodiésel B5 es 278.04  $\mu\text{s}$  y 270.05  $\mu\text{s}$  cuando se utiliza diésel fósil; en promedio al utilizar biodiésel B5 a base de piñón el consumo aumenta en un 2.87 % más que cuando se usa diésel premium.



**Figura 3.3** Diagrama comparativo entre los promedios de la duración de inyección utilizando biodiésel B5 y diésel premium

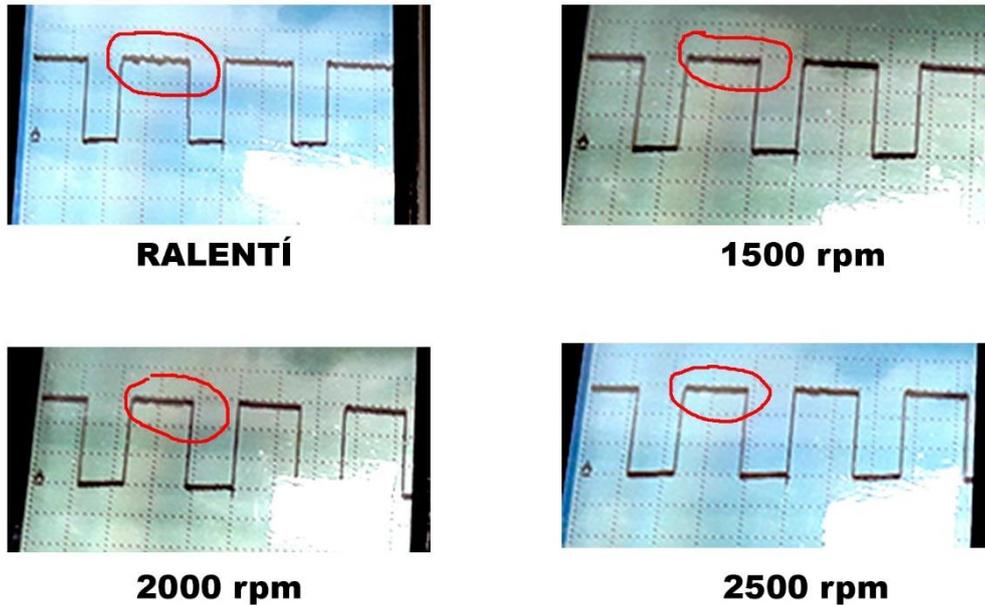
El comportamiento de los dos inyectores respecto a la duración de inyección en promedio es similar ya que en ambos casos existe mayor consumo al usar biodiésel B5 a base de piñón.

### 3.4. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS VÁLVULAS SCV e IPR

#### 3.4.1. Válvula SCV

Se observa que la forma de la curva es cuadrada y la manera como cambia en relación a las rpm hace deducir que la válvula es de tipo normalmente abierta ya que al aumentar la carga se disminuye la amplitud de duración de excitación del solenoide, en la figura 3.4 se corrobora lo expuesto gráficamente.

Debido a que la duración del ciclo en el cual está inmiscuido la duración de excitación y la de descanso no varía se deduce que la válvula trabaja a una frecuencia constante.



Para las 4 gráficas  
 Eje x = tiempo    escala (2 ms)  
 Eje y = tensión    escala (5 V)

**Figura 3.4** Gráfica de las curvas emitidas por la válvula SCV a diferentes regímenes

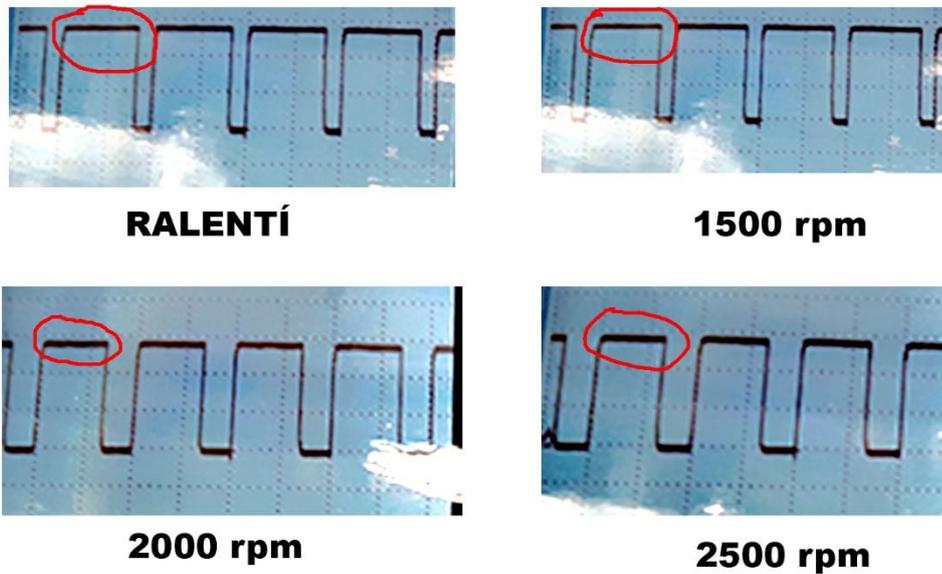
La viscosidad del diésel premium es de  $5.0 \text{ mm}^2/\text{s}$  y la del biodiésel B5 a base de piñón es de  $4.573 \text{ mm}^2/\text{s}$  existiendo una diferencia del 8%, el aumento del valor de la viscosidad implica mayor trabajo al hacer circular combustible dentro del sistema de inyección del vehículo, provocando mayores esfuerzos en sus componentes y con ello un desgaste más rápido, de manera específica y aislada el fenómeno que ocurre en la válvula SCV debido al cambio de viscosidad entre los combustibles se ve reflejado en una mayor resistencia por parte del fluido más viscoso al circular por dicha válvula, también conlleva a un incremento en la presión del componente. Debido a la diferencia del valor de la propiedad de viscosidad cinemática entre biodiésel B5 a base de piñón y diésel cuyos valores los encontramos en la tabla 3.1, se puede deducir que al trabajar con biodiésel con mezcla B5 se disminuye el esfuerzo en los componentes de la válvula y por lo tanto se alarga la vida útil de este.

### 3.4.2. Válvula IPR

Al igual que en la válvula SCV la IPR se comporta de forma similar, se observa que la forma de la curva es cuadrada y la manera como se modifica al variar las rpm, hace deducir que la válvula es de tipo normalmente abierta, la figura 3.5

muestra que mientras aumenta la carga disminuye la duración de excitación de la válvula.

Del análisis realizado anteriormente en la válvula SCV respecto a la variación de los ciclos se deduce que la válvula IPR trabaja a frecuencia constante.



Para las 4 gráficas  
 Eje x = tiempo escala (0.5 ms)  
 Eje y = tensión escala (5 V)

**Figura 3.5** Gráfica de las curvas emitidas por la válvula SCV a diferentes regímenes

Al igual que en la válvula SCV la diferencia del valor de la viscosidad entre los dos combustibles hace deducir que al trabajar con biodiésel B5 ayuda a disminuir un desgaste prematuro en los componentes de la válvula IPR.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES

- La opacidad baja un 8% al usar biodiésel B5 a base de piñón en relación al uso con diésel premium, esto se debe tanto al aumento en un 32% de la temperatura del punto de inflamación (75°C), como al incremento del 15% del índice de cetano en el biodiesel (53), gracias a esto la molécula de biodiésel contribuye con más átomos de oxígeno que lo que contribuye por molécula el mismo volumen de diésel, en consecuencia, la combustión es de mejor calidad y existe menos inquemados, ayudando así a disminuir la contaminación al medio ambiente.
- De manera general para los dos inyectores analizados el consumo de combustible en promedio aumenta un 3% al utilizar biodiésel B5, puesto que el poder calorífico del diésel premium es mayor en un 12% al del biodiesel (10.3 kWh/gal), este tiene menor energía que el diésel y el motor necesita mayor cantidad de combustible para tener el mismo rendimiento.
- La válvula SCV funciona a una tensión de 14 voltios y un tiempo de trabajo de 3.6 ms, la IPR a una tensión de 14 voltios y 0.7 ms de tiempo de trabajo; se concluye que las dos válvulas trabajarían menos cuando se usa biodiésel B5, porque la viscosidad cinemática del diésel (5 mm<sup>2</sup>/s) es un 8% mayor que la del biodiésel (4.573 mm<sup>2</sup>/s), debido a esto los componentes necesitan mayor potencia para hacer fluir el combustible en los arranques del motor.

## 4.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de opacidad usando biodiésel a base de piñón en mezclas B10, B20, B50 y B100, para conocer en qué cantidad se puede disminuir las emisiones de hollín al medio ambiente y cómo se comporta el motor y sus componentes al trabajar con estas mezclas.
- Efectuar pruebas de torque y potencia con biodiésel a base de piñón ya que tanto el valor del índice de cetano, como la temperatura del punto de inflamación son mayores para el biodiésel, por lo tanto, se esperaría un mejor desempeño dinámico en el motor al usar biodiésel.
- Medir gases de escape utilizando biodiésel a base de piñón, ya que la caracterización fisicoquímica del biodiésel bajo de 500 ppm a 248.1 ppm en contenido de azufre, pronosticando que la emisión de sulfuros será mitigada y la combustión del motor será de mejor calidad.
- Efectuar mediciones del comportamiento de trabajo de las válvulas SCV e IPR usando biodiésel a base de piñón, ya que la viscosidad cinemática del biocombustible es menor a la del diésel, y con esto se conocerá cómo se comportan las válvulas cuando se trabaja con combustibles de diferentes viscosidades.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. A. C. (2013). *Biomasa y biocombustibles*. Madrid, España: AMV ediciones.
2. Aficionados a la Mecánica. (2014). *Aficionados a la Mecánica*. Obtenido de [http://www.aficionadosalamecanica.net/common\\_rail5.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/common_rail5.htm)
3. AG, V. (2017). Manual de instrucciones Amarak. Alemania.
4. Alonso, J. P. (2009). *Técnicas del Automóvil Motores*. Madrid: Paraninfo.
5. Alonso, M. B. (2013). La emisión de aerosoles de partículas y gases en motores de diésel. *Seguridad y Salud en el trabajo*, 68.
6. Arizaga Idrovo, F. I., & Torres Ortiz, P. F. (10 de 2014). Diseño de un simulador para diagnóstico de bombas CRDi e implementaciones un banco de pruebas Hartridge de bombas convencionales. Cuenca, Azuay, Ecuador.
7. Basté Gonzáles, J. (2013). Determinación del comportamiento de los componentes contaminantes en el sistema de alimentación Diesel. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 65-68.
8. Blumberg, K. O., Wlash, M. P., & Pera, C. (2003). *Gasolina y Diésel de bajo azufre, la clave para disminuir las emisiones vehiculares*. Hewlett.
9. BOSCH. (2010). *Bosch-Automotive*. Obtenido de [http://br.bosch-automotive.com/pt/internet/parts/startpage/startpage\\_1.html](http://br.bosch-automotive.com/pt/internet/parts/startpage/startpage_1.html)
10. BOSCH. (2010). *ES.BOSCH - AUTOMOTIVE*. Obtenido de [http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts\\_and\\_accessories/motor\\_and\\_systems/diesel/common\\_rail\\_injection/common\\_rail\\_diesel\\_motorsys\\_parts.html](http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories/motor_and_systems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts.html)
11. Braun, R., Pumarino, M., & Tolvet, S. (2010). *Motores Diesel: Tecnologías para el futuro*. Santiago: Universidad de Chile.
12. Castillo Ospina, A. M., Velásquez, J., & Cuartas, P. (Enero-JUnio de 2011). OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE JATROPHA CURCAS L POR TRANSESTERIFICACION ETANOLICA. *Revista Investigaciones Aplicadas*, 5.

13. Castro, P., Coello, J., & Castillo, L. (2007). *Opciones para la producción y uso del biodiésel en el Perú*. Lima: ISBN.
14. Chanatasig, V., Arcentales, G., & Erazo, G. (2014). Auditoria ambiental al sistema de gestión destinado a la protección del medio ambiente en la cooperativa de transportes de pasajeros salcedo. *Energía Mecánica Innovación y Futuro*, 3.
15. Chevron Coporation. (2007). Diesel Fuels Technical Review. *Diesel Fuels Technical Review*, 116.
16. Conveagro, Agriterra. (Noviembre de 2009). Producción de biodiesel de palma aceitera y jatropha en la Amazonas del Perú y el impacto para la sostenibilidad. *Un Análisis Sostenible del Ciclo de Vida*. Perú.
17. de Castro Vicente, M. (1987). *EL MOTOR DIÉSEL EN EL AUTOMOVIL*. Barcelona: ceac.
18. E. R. (1999). *Motores Diésel*. Nueva York: Paraninfo.
19. Ecuadorinmediato. (05 de Enero de 2012). *Ecuadorinmediato*. Obtenido de [http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news\\_user\\_view&id=164706](http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_user_view&id=164706)
20. Fonseca, J. (2011). Celda, pilas y baterías de ion litio una alternativa para ... ?? *Journal Boliviano de Ciencias*, 8(22).
21. INIAP, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, IICA, GIZ . (Marzo de 2013). Proyecto Piñon para Galapagos. *MANUAL DE COSECHA Y POST COSECHA DE PIÑON*. Portoviejo, Manabí, Ecuador.
22. Instituto Ecuatoriano de Normalización. (14 de 06 de 2013). Reglamento Técnico Ecuatoriano RTN INEN 028:2011 . *Combustibles*. Quito, Pichincha, Ecuador.
23. Jiaqiang E, M. P. (25 de 05 de 2017). *Sciencedirect*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211730895X>
24. LACBAL. (2018). *Informe de análisis de resultados de caracterización de biodiésel B5 a base de Jatropha Curcas* . QUITO: EPN.

25. Maco. (20 de 08 de 2014). Mecánica y Gestión Electrónica de Motores Diesel.
26. McMichael, A. (2000). The urban environment and health in a world. *Bulletin of the World Health Organization*.
27. MEGANEBOY, D. (2014). *AFICIONADOSL A LA MECANICA*. Obtenido de [http://www.aficionadosalamecanica.net/common\\_rail.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/common_rail.htm)
28. Mejía, R. T. (2010). *Hidrocarburos Manejo seguro*. Bogotá: Ecoe Ediciones.
29. Mi, C., Masrur, A., & Wenzhong Gao, D. (2011). *Hybrid Electric Vehicles Principles and Applications with Practical Perspectives*. USA: John Wiley and Sons Ltd.
30. Michelena, M. C., Álvarez, F. H., & Martín, F. M. (2008). *Los Biocombustibles*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
31. Morán Vega, C., & Passo Guamangote, R. (2014). Diseño y construcción del sistema de activación y control de inyectores diésel riel común CRDi . Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.
32. Nolasco Guzman, E. D. (Noviembre de 2015). Evaluación de cuatro métodos de extracción de aceite de la semilla de piñón (*Jatropha Curcas*). Honduras.
33. Normalización, I. E. (14 de 06 de 2013). *Enmienda Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2012*. Quito.
34. Pérex Sánchez , A., Montero Alpírez, G., Ayala Bautista, R., García Gonzáles, C., & Ramírez, H. E. (2015). Simulación en Aspen de la combustión de mezclas diesel-biodiesel. *Scielo*.
35. S. E., J. G., A. S., & J. R. (2011). *Motores*. Madrid: Macmillan.
36. Sp.A, B. B. (s.f.). Manual Opacímetro Brain Bee OPA-100. Parma, Italia.
37. Tigre Sangurima, M. O., & Villa Cayambe, N. M. (2015). Rpotenciación de un banco de pruebas de inyectores para vehículos a diésel CRDi para el laboratorio de inyección electrónica de la Escuela de Ingeniería Automotriz. Latacunga , Cotopaxi, Ecuador.

38. Vargas, V. L. (2012). *Jatropha curcas* una Alternativa para la Obtención de Biodiésel sin Afectar al Sector Alimentario. *BioTecnología y Bioingeniería*, 151.
39. Vicente, A. M. (2012). *La Biomasa y sus aplicaciones Energéticas*. Madrid: AMV Ediciones.
40. VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg. (2014). *Scribd*. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/87480008/351-Sistema-de-inyeccion-Common-rail-motor-3-0-TDI-vw>

## 6. ANEXOS

**ANEXO I:** Datos de la realización de 4 pruebas de Opacidad usando Biodiésel B5 a base de piñón en diferentes regímenes a ralentí, 1500, 2000 y 2500 rpm

### Prueba 1 biodiésel



### Prueba 2 biodiésel



### Prueba 3 biodiésel



### Prueba 4 biodiésel



**ANEXO II:** Datos de la realización de 4 pruebas de Opacidad usando diésel premium a diferentes regímenes a ralentí, 1500, 2000 y 2500 rpm

### Prueba 1 diésel



### Prueba 2 diésel



### Prueba 3 diésel



### Prueba 4 diésel



## ANEXO III: Datos de 4 pruebas de escaneado usando biodiésel B5 a base de piñón a diferentes regímenes a ralentí, 1500, 2000 y 2500 rpm

### Prueba 1 biodiésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.24	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.24	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.24
<p>Temperatura combustible: 36,5 °C                      Duración control inyección previa 1: 440,0 µs                      Duración control inyección previa 2: 334,4 µs                      Presión combustible: 268,30 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 37,2 °C                      Duración control inyección previa 1: 441,6 µs                      Duración control inyección previa 2: 335,6 µs                      Presión combustible: 423,80 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 37,8 °C                      Duración control inyección previa 1: 326,0 µs                      Duración control inyección previa 2: 239,2 µs                      Presión combustible: 466,50 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 38,2 °C                      Duración control inyección previa 1: 275,2 µs                      Duración control inyección previa 2: 231,2 µs                      Presión combustible: 585,40 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

### Prueba 2 biodiésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.24	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.2493	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.2493	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249
<p>Temperatura combustible: 38,6 °C                      Duración control inyección previa 1: 423,2 µs                      Duración control inyección previa 2: 358,4 µs                      Presión combustible: 231,10 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 38,6 °C                      Duración control inyección previa 1: 400,8 µs                      Duración control inyección previa 2: 289,6 µs                      Presión combustible: 332,30 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 39,2 °C                      Duración control inyección previa 1: 312,0 µs                      Duración control inyección previa 2: 0,0 µs                      Presión combustible: 372,80 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 39,3 °C                      Duración control inyección previa 1: 282,8 µs                      Duración control inyección previa 2: 232,0 µs                      Presión combustible: 591,40 bar                      Inyector 1: 44,95 µs                      Inyector 2: 19,15 µs                      Inyector 3: 29,90 µs                      Inyector 4: 21,60 µs</p>
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

### Prueba 3 biodiésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.2493			
<p>Temperatura combustible: 39,8 °C                      Duración control inyección previa 1: 462,8 µs                      Duración control inyección previa 2: 334,4 µs                      Presión combustible: 231,80 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 40,3 °C                      Duración control inyección previa 1: 382,0 µs                      Duración control inyección previa 2: 283,2 µs                      Presión combustible: 348,50 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 40,6 °C                      Duración control inyección previa 1: 327,6 µs                      Duración control inyección previa 2: 248,4 µs                      Presión combustible: 496,70 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 41,0 °C                      Duración control inyección previa 1: 282,4 µs                      Duración control inyección previa 2: 225,2 µs                      Presión combustible: 586,60 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

### Prueba 4 biodiésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249			
<p>Temperatura combustible: 41,8 °C                      Duración control inyección previa 1: 430,0 µs                      Duración control inyección previa 2: 357,6 µs                      Presión combustible: 264,20 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 41,8 °C                      Duración control inyección previa 1: 388,8 µs                      Duración control inyección previa 2: 282,4 µs                      Presión combustible: 325,80 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 42,1 °C                      Duración control inyección previa 1: 310,8 µs                      Duración control inyección previa 2: 236,4 µs                      Presión combustible: 396,60 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>	<p>Temperatura combustible: 42,3 °C                      Duración control inyección previa 1: 295,2 µs                      Duración control inyección previa 2: 221,6 µs                      Presión combustible: 571,90 bar                      Inyector 1:Punt.calib.presión rail 1: 44,95 µs                      Inyector 2:Punt.calib.presión rail 1: 19,15 µs                      Inyector 3:Punt.calib.presión rail 1: 29,90 µs                      Inyector 4:Punt.calib.presión rail 1: 21,60 µs</p>
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

## ANEXO IV: Datos de 4 pruebas de escaneado usando diésel premium a diferentes regímenes a ralentí, 1500, 2000 y 2500 rpm

### Prueba 1 Diésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249:	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249:	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.2493	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

### Prueba 2 Diésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249:	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249:	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249	ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.249
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

### Prueba 3 Diésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.24f			
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

### Prueba 4 Diésel

ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0	ESI[tronic] 2.0
ESI[tronic] 2.0 Versión 11.0.24f			
<b>ralentí</b>	<b>1500 rpm</b>	<b>2000 rpm</b>	<b>2500 rpm</b>

## ANEXO V: Tabla de valores de requisitos de propiedades para diésel premium según INEN

### NTE INEN 1489:2012/ENMIENDA

**TABLA 3. Requisitos del diésel Premium**

Requisitos	Unidad	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
$\Phi$ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
W contenido de azufre	%	-	0,05	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel, $\Phi_{\text{Biodiésel}}$	%	---	5	EN 14078
NOTA. De no contener biodiésel, no es necesario la realización de este ensayo.				

Debe decir:

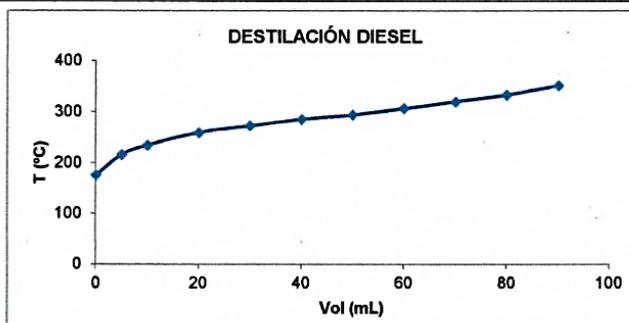
**TABLA 3. Requisitos del diesel Premium**

REQUISITOS	Unidad	mínimo	máximo	Método de ensayo
Punto de Inflamación	°C	51,0	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
$\Phi$ Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% de residuo de destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1494
W Contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Contenido de azufre	ppm	-	500	ASTM 4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No.3	NTE INEN 927
Índice de cetano	-	45,0	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel, $\Phi_{\text{Biodiésel}}$ *	%	5	10	EN 14078
* Se debe considerar este parámetro siempre y cuando el diesel esté adicionado con biodiesel				

## ANEXO VI: Caracterización de biodiésel a base de piñón mezcla B5

	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b>	Revisión: 01
	<b>LACBAL</b>	Fecha: Ene-2018
	<b>INFORME DE ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	Página: 1 de 1
		<b>FMC2301-01</b>

<b>I-LACBAL-2018-18</b>					
<b>INFORMACIÓN CLIENTE:</b>	<b>NOMBRE/EMPRESA</b>	ANDRÉS ANÍBAL CHÁVEZ			
	<b>DIRECCIÓN</b>	IBARRA			
	<b>NÚMERO DE MUESTRAS</b>	1			
<b>INFORMACIÓN GENERAL:</b>					
<b>RESPONSABLE DEL ENSAYO</b>		ING. TANIA PARRA	<b>ORDEN DE TRABAJO</b>	EPN	5826
<b>FECHA</b>	<b>RECEPCIÓN</b>	06-03-2018	<b>PROFORMA</b>	LACBAL	OT-LACBAL-2018-18
	<b>INICIO DE ENSAYO</b>	07-03-2018		EPN	DQ-P0028-2018
	<b>ENTREGA DE INFORME</b>	19-03-2018	LACBAL	COT-LACBAL-2018-18	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b>					
<b>IDENTIFICACIÓN</b>	<b>CÓDIGO LABORATORIO</b>	<b>TIPO MUESTRA</b>	<b>TIPO ENVASE</b>	<b>CANTIDAD</b>	
BIODIÉSEL B5 PIÑÓN	M-LACBAL-2018-18-01	Biodiésel B5	Vidrio	1 L	
<b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b>					
<b>TEMPERATURA [°C]</b>	17.8	<b>HUMEDAD RELATIVA [%]</b>	55	<b>PRESIÓN [kPa]</b>	72.9
<b>RESULTADOS OBTENIDOS:</b>					
<b>MUESTRA</b>	<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA MÉTODO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>NORMA REQUISITO<sup>1</sup></b>	<b>VALOR OBTENIDO</b>
M-LACBAL-2018-05-03	*Punto de inflamación	ASTM D93 - 16a	°C	51 Mín.	75
	*Contenido de azufre	ASTM D4294-16	ppm	500 Máx.	248.1
	*Corrosión lámina de cobre	ASTM D130-12	---	Nº 3 Máx.	1A
	*Índice de cetano calculado	INEN 1495:2013 (1R)	---	45 Mín.	53.0
	*Ensayo de destilación: Temperatura del 90%	ASTM D86-15	°C	360 Máx.	352
	*Residuo de Carbón Conradson sobre el 10% de residuo	ASTM D4530-15	%	0.15 Máx.	0.017
	*Contenido Cenizas	INEN 1492:2013 (1R)	%	0.01 Máx.	0.025
	*Viscosidad cinemática a 40 °C	ASTM D445-15a	mm <sup>2</sup> /s	2.0 a 5.0	4.573
*Agua y sedimentos	ASTM D1796 - 11	%	0.05 Máx.	<0.05	
<b>INFORMACIÓN ADICIONAL:</b>					



  
**Ing. Eliana Peña**  
**DIRECTORA TÉCNICA LACBAL**

- \*Los parámetros se encuentran dentro del Sistema de Gestión ISO 17025, pero no están acreditados
- Queda prohibido la reproducción de forma parcial o total del presente informe sin autorización del Laboratorio
- El muestreo es responsabilidad del cliente, la Escuela Politécnica Nacional no responde por posibles variaciones ocasionadas por la toma de muestra
- Solo reportado cuando sea solicitada la comparación respectiva con la normativa vigente, INEN 1489:2012, séptima revisión.