



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIÉSEL  
ELECTRÓNICO CON EL USO DE BIODIÉSEL A BASE DE ACEITE DE  
HIGUERILLA CON MEZCLA B10.**

**AUTOR: FRANKLIN MATEO ARBOLEDA GARRIDO**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MAFLA Msc.**

**IBARRA -ECUADOR**

**2018**

## **Certificado**

### **ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

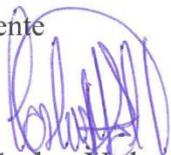
En mi calidad de Director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### **CERTIFICO:**

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es “Evaluación del funcionamiento del motor diésel electrónico con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera con mezcla B10” presentado por el señor: Franklin Mateo Arboleda Garrido con número de cédula 1003599378, 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 junio del 2018.

Atentamente



MSC. Carlos Nolasco Mafla Yépez  
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

# Autoría de responsabilidad



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de texto completos en forma digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
<b>CEDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003599378
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Arboleda Garrido Franklin Mateo
<b>DIRECCIÓN:</b>	Esmeraldas y 13 de Abril
<b>EMAIL:</b>	farboledag@utn.edu.ec
<b>TELEFONO FIJO:</b>	2546849 <b>TELEFONO MÓVIL:</b> 0989476457
DATOS DE CONTACTO	

DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO:</b>	Evaluación del funcionamiento del motor diésel electrónico con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera con mezcla B10
<b>AUTORES:</b>	Franklin Mateo Arboleda Garrido
<b>FECHA:</b>	Ibarra 15 de Enero de 2018
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
<b>PROGRAMA:</b>	PREGRADO
<b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
<b>ASESOR/DIRECTOR</b>	MSC. Carlos Nolasco Mafla Yépez

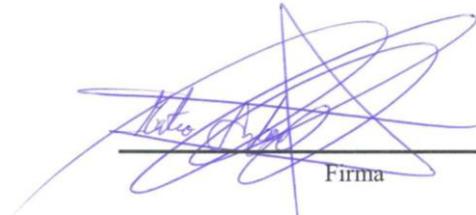
## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, **Franklin Mateo Arboleda Garrido** con cédula de identidad Nro. **1003599378**, en calidad de autores y titulares de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros. Ibarra, a los 15 días del mes de Enero de 2018

## AUTOR

  
\_\_\_\_\_  
Firma

Franklin Mateo Arboleda Garrido  
\_\_\_\_\_  
Nombre completo

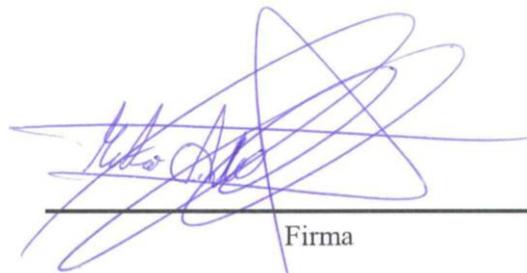
1003599378  
\_\_\_\_\_  
C.C

Facultado por resolución de Consejo Universitario



## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, **Franklin Mateo Arboleda Garrido** con cédula de identidad Nro. **1003599378**, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **Evaluación del funcionamiento del motor diésel electrónico con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera con mezcla B10** que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ** en la Universidad Técnica del Norte quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi Condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

  
\_\_\_\_\_  
Firma

Franklin Mateo Arboleda Garrido  
\_\_\_\_\_  
Nombre completo

1003599379  
\_\_\_\_\_  
C.C

Ibarra, a los 15 días del mes de Enero de 2018

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a mis padres, a mis abuelitos, a mí hermano; quienes me han guiado y me han apoyado para poder cumplir mis sueños y poder llegar a ser un profesional.

**FRANKLIN MATEO ARBOLEDA GARRIDO**

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo extender un sincero agradecimiento a la Universidad Técnica de Norte por darme la oportunidad de formar parte de ella y permitirme prepararme para llegar un futuro profesional.

En segundo lugar agradezco a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas “FICA” por ser nuestro segundo hogar durante toda nuestra vida universitaria.

De igual manera brindo un agradecimiento a mi director de trabajo de grado el Msc. Carlos Mafla que más que un docente de nuestra carrera, es considerado como un gran amigo quien compartió sus conocimientos conmigo para llegar a ser Ingeniero.

También quiero dar un gran agradecimiento a todos los ingenieros de la carrera Ingeniería Automotriz por compartir el conocimiento a los estudiantes para poder alcanzar y llegar a los que somos.

Y por último quiero agradecer a todos mis amigos, compañeros, y personas conocidas que me han apoyado durante toda la carrera universitaria con consejos para poder superar los problemas que cada día se me presentaban.

**FRANKLIN MATEO ARBOLEDA GARRIDO**

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>Certificado</b>	ii
<b>Autoría de responsabilidad</b>	iii
<b>DEDICATORIA</b>	vi
<b>AGRADECIMIENTO</b>	vii
<b>Resumen</b>	xv
<b>Abstract</b>	xvi
<b>CAPÍTULO I</b>	17
<b>1. Problema de investigación</b>	17
1.1. Antecedentes	17
1.2. Planteamiento del Problema	17
1.3. Formulación del Problema	18
1.4. Delimitación	18
1.4.1.Temporal	18
1.4.2.Espacial	19
1.5. Objetivo	19
1.5.1.Objetivo general	19
1.5.2.Objetivos Específicos	19
1.6. Justificación:	19
<b>CAPÍTULO II</b>	21
<b>2. Marco teórico</b>	21
2.1. Biodiésel	21
2.1.1. El Biodiésel en Ecuador	22
2.1.2. Obtención del biodiésel	23
2.1.3. Proceso de obtención de Biodiésel	23
2.2. Motores diésel electrónicos CRDi	25

2.2.1. SENSORES PRINCIPALES	25
2.2.2. SENSORES SECUNDARIOS	26
2.2.3. ACTUADORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS	26
2.2.4. Bomba de Inyección	27
2.2.5. Inyectores	29
2.3. Parámetros de funcionamiento de motores “CRDi”	34
2.3.1. Funcionamiento del Sistema	35
2.4. Emisiones de gases de escape	36
2.4.1. Normas de emisiones de gases contaminantes	38
2.5. Uso de biodiésel en motores electrónicos CRDi	41
2.6. Equipos de prueba de trenes de potencia	42
2.7. Glosario	43
<b>CAPÍTULO III</b>	45
<b>3. PROPUESTA</b>	45
3.1. Proceso de obtención del biodiésel a utilizar	45
3.2. Aspectos técnicos del vehículo de prueba a utilizar	49
3.3. Prueba de emisión de gases	49
3.3.1. Procedimiento de medición	51
3.3.2. Resultados de emisiones con diésel	51
3.3.3. Resultados de emisiones con biodiésel	52
3.4. Consumo de combustible	53
3.4.1. Consumo con diésel	54
3.4.2. Consumo con biodiésel	55
3.5. Pruebas de Torque y Potencia	56
3.5.1. Procedimiento	57
3.5.2. Resultados con diésel	58
3.5.3. Resultados con biodiésel	59

<b>CAPITULO IV</b>	62
<b>4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	62
4.1. Comparación de Factores de emisión	62
4.2. Consumo de combustible	68
4.2.1. Comparación de resultados del consumo	68
4.3. Potencia y Torque	70
4.3.1. Comparación de resultados de la potencia.	70
4.3.2. Comparación de resultados del Torque.	72
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	75
5.1. Conclusiones	75
5.2. Recomendaciones	76
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	77

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA NUM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG</b>
2.1	Propiedades del biodiésel vs el diésel fósiles del biodiésel vs el diésel fósil	22
2.2	Generación de bombas COMMON RAIL	28
2.3	Funciones de la ECM	34
2.4	Impacto de los gases de escape a la salud	38
2.5	Límites de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)	39
2.6	Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año 2000 (ciclos europeos)	40
2.7	Normas Euro para vehículos diésel	41
3.1	Análisis de fisicoquímico del biodiésel a base de higuierilla mezcla B10	48
3.2	Especificaciones Técnicas Del Vehículo	49
3.3	Factores de emisión con diésel	52
3.4	Factores de emisión con mezcla B10	53
3.5	Consumo de combustible con diésel	55
3.6	Consumo de combustible con mezcla B10	56
3.7	Datos de Potencia y Torque con diésel	58
3.8	Datos de Potencia y Torque con biodiésel	60
4.1	Comparación de factores de Emisión	62
4.2	Resultados, Normas nacionales e Internacionales	63
4.3	Consumo de Combustible en Km/l	69
4.4	Resultados Torque y Potencia	70
4.5	Potencia con Diésel y Biodiésel	71
4.6	Torque con Diésel y Biodiésel (B10)	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA NUM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG</b>
2.1	Proceso de Transestrificación del Biodiésel	24
2.2	Sistema Common Rail	25
2.3	Elementos del Sistema Common Rail	27
2.4	Partes de la Bomba de alta presión	28
2.5	Inyector Electrónico	30
2.6	Inyector Piezo Eléctrico	31
2.7	Actuador Piezoeléctrico	32
2.8	Inyector Piezoeléctrico Cerrado	32
2.9	Inyector Piezoeléctrico Abierto	33
2.10	Fin de la Inyección	34
2.11	Componentes que forman la gestión Electrónica	35
2.12	Componentes de un sistema Common Rail	36
2.13	Dinamómetro de Motor	42
2.14	Dinamómetro de Rodillos	43
3.1	Comprobación del pH de la disolución	45
3.2	El Reactor e introducción del aceite de Higuierilla	46
3.3	Extracción del biodiésel después de la transesterificación	46
3.4	Proceso de lavado del Biodiésel	47
3.5	Proceso de Evaporación de Agua	47
3.6	Ciclo de Conducción IM240	50
3.7	Vehículo de Prueba Sobre el Dinamómetro	51
3.8	Factores de Emisión con diésel	52
3.9	Factores de Emisión con Biodiésel (B10)	53
3.10	Depósito de combustible y Materiales de Medición	54
3.11	Gráfica del Consumo de diésel en las Pruebas	55
3.12	Gráfica del Consumo de Biodiésel (B10) en las Pruebas	56
3.13	Resultados de producción de Potencia	57
3.14	Curvas de Potencia y Torque con diésel	59

3.15	Curvas de Potencia y Torque con biodiésel	61
4.1	Comparación de Biodiésel vs Norma INEN 2 207 y EURO 3	64
4.2	Comparación de Biodiésel vs Norma INEN 2 207 y EURO 3	64
4.3	Comparación de Biodiésel vs Norma EURO4	65
4.4	Comparación de Biodiésel vs Norma EURO4	65
4.5	Comparación de Biodiésel vs Norma EURO5	66
4.6	Comparación de Biodiésel vs Norma EURO 5	66
4.7	Comparación de Biodiésel vs Norma EURO 6	67
4.8	Comparación de Biodiésel vs Norma EURO 6	68
4.9	Comparación del consumo entre Diésel y Biodiésel (B10)	69
4.10	Potencia con el uso de Diésel y Biodiésel (B10)	72
4.11	Torque con el uso de Diésel y Biodiésel (B10)	74
A 1.1	Inicio del proceso de transesterificación	80
A 1.2	Comprobación de temperatura del proceso	80
A 1.3	Finalización del proceso de transesterificación	81
A 1.4	Comprobación de pH después de la transesterificación	81
A 1.5	Proceso de lavado del biodiésel	82
A 1.6	Proceso de decantación del biodiésel	82
A 1.7	Certificado de caracterización	83
A 2.1	Programa analizador de gases	84
A 2.2	Medición de los combustibles de prueba	84
A 2.3	Pruebas de consumo de combustible	85
A 2.4	Medición de biocombustible	85
A 2.5	Pruebas de Potencia y Torque	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO NUM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PAG</b>
1	Proceso de transesterificación	80
2	Desarrollo de pruebas de gases y torque potencia	84

## **Resumen**

El presente trabajo de grado se basa en el desarrollo de un biocombustible obtenido a base de aceite de higuera mediante un proceso de transesterificación para la ejecución de diferentes pruebas, que van a efectuarse dentro de un motor diésel electrónico o CRDi, con la finalidad de demostrar si durante el proceso de combustión se producen diferencias en el desempeño del motor, al momento de usar un combustible alternativo al diésel. Para poder apreciar las diferencias que se producen dentro del funcionamiento del motor se usa un dinamómetro de rodillos para obtener los datos se realizan cinco pruebas con cada uno de los combustibles, al final se hace una comparación entre las curvas de potencia y torque del motor producidas por el diésel y el biodiésel, al igual se realiza un balance entre el consumo de combustible que genera el motor diésel electrónico durante el desarrollo de cada una de las pruebas con la utilización del ciclo IM240 que simula un circuito urbano. Al igual se realizan cinco pruebas de emisiones de gases de escape con cada combustible utilizando el ciclo antes mencionado, al final se hace una comparación entre las emisiones producidas con diésel y con biodiésel (B10); tomando como referencia las normas nacionales e internacionales vigentes en el país y el mundo, para determinar si existe una variación en la producción varios gases contaminantes que son producto de una mala combustión y afectan a la salud de las personas y contamina el aire de las ciudades contribuyendo al calentamiento global.

## Abstract

The following investigation project is based on the development of a biofuel made with “higuerilla” oil to be tested in different ways, carried out within an electronic diesel engine or CRDi, in order to demonstrate the differences in the engine’s operation during use of an alternative fuel than diesel. It’s used a dynamometer to obtain the test data from each fuel and a comparison is made between the engine power and torque curves, which are produced by each fuel. In addition, it’s made a balance of the fuel consumption generated by the electronic diesel engine during the development of each of the tests, using the IM240 cycle which simulates an urban circuit. Exhaust gas tests are carried out with each fuel and at the end it’s made a comparative relation between the emissions produced with diesel and with biodiesel (B10); taking as reference the national and international standards running in the country and the world to determine if there is a variation in the production of polluting gases that are a product of combustion and affect directly to people’s health and pollute the air of cities contributing to global warming.

*Antonio J. B. H.*



# CAPÍTULO I

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. Antecedentes

Últimamente el mundo está tratando de luchar contra el calentamiento global que se ha venido produciendo por las emisiones de gases contaminantes que generan las máquinas de combustión interna, debido a que un motor nunca trabaja en condiciones óptimas, dando como resultado dichas partículas que afectan directamente a los seres vivos. El resultado de una mala inflamación del combustible produce los siguientes gases: monóxidos de nitrógeno, dióxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, monóxidos de carbono, entre otros.

Estos gases contaminantes que anteriormente fueron nombrados, causan serios daños a la salud de las personas que paulatinamente van provocando síntomas como tos, irritaciones en los ojos y partes respiratorias que causan serios daños llegando a provocar neumonía, asma y cáncer en el peor de los casos (OMS, 2013, pág. 10).

En grandes ciudades se ha empezado a tomar medidas para que la contaminación del aire no afecte a la salud de las personas; estudios realizados han registrado los 10 países que emiten más gases contaminantes estos son: China: 25.36%; Estados Unidos: 14.4%; Unión Europea: 10.16%; India: 6.96%; Rusia: 5.36%; Japón: 3.11%; Brasil: 2.4%; Indonesia: 1.76%; México: 1.67%; Irán: 1.65% (ecoosfera, 2015, pág. 16).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el 2012 establece que “El aire debe tener como mínimo 25 microgramos por centímetro cúbico de gases contaminantes” (OMS, 2013, pág. 14).

Este tipo de contaminación no solo afecta el aire que nos rodea sino también al suelo y al agua; con lo cual genera grandes cambios climáticos que se han venido haciendo más notorio en los últimos tiempos (González, 2012, pág. 11).

### 1.2. Planteamiento del Problema

La contaminación producida por los gases de escape afecta el aire, el agua generando que la luz solar pase a través de la nube de gases que están sobre las ciudades y no salga provocando el efecto invernadero, como consecuencia no permite que el agua se evapore

con normalidad lo que reduce notablemente la cantidad de lluvia que se tendrá en el año. El agua que se logra evaporarse sube a la atmósfera, este vapor se condensa y retorna al suelo en forma de lluvia, pero esta al regresar ya no es pura debido a que está mezclada con los gases contaminantes y además tiene que atravesar una nube de contaminación que rodean a las ciudades; produciéndose así lluvias ácidas que queman a las plantas, erosiona el suelo y contaminan los ríos, lagunas y el agua potable para nuestro consumo diario.

Este tipo de contaminación afecta seriamente al suelo, ya que con este absorbe y logran mezclarse con las partículas sólidas y líquidas. Al momento que estas partículas están presentes en el suelo, las plantas que están sembradas absorben los contaminantes por sus raíces, siendo el medio por donde las plantas se nutren; estas producen frutos o son plantas comestibles para el ser humano o animales, produciendo enfermedades debido a que los alimentos que están ingiriendo son tóxicos y progresivamente presentarán problemas de salud a causa de estos alimentos.

El suelo adquiere varios tipos de contaminantes, al momento de tener contacto con la piel de las personas o inhalarlo, las partículas de polvo contaminado entran a nuestro organismo. La gente que trabaja en el campo siempre están expuestas a este tipo de suelos y empezarán a contraer enfermedades como diabetes, problemas cardiovasculares y problemas endócrinos, que paulatinamente irán degradando a la persona.

### **1.3. Formulación del Problema**

Uno de los aspectos que se desconoce dentro del proyecto es la cantidad de gases emanados por el motor diésel electrónico y si este cumple con las normas vigentes; al igual se desconoce si afecta el funcionamiento de este tipo de motores al momento que este trabaje con un biocombustible. Una pregunta sale de este tema ¿Cuál será funcionamiento del motor diésel electrónico, con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera con mezclas B10?

### **1.4. Delimitación**

#### **1.4.1. Temporal**

El presente trabajo de grado se desarrolló en el lapso del tiempo comprendido entre enero de 2017, hasta el mes de noviembre del 2017.

### **1.4.2. Espacial**

El desarrollo del presente trabajo de grado se realizó en las instalaciones de la Unidad Educativa 17 de Julio en la cual se elaboró el Biocombustible y en los laboratorios del CCICEV para la realización de las pruebas dentro del motor.

## **1.5. Objetivo**

### **1.5.1. Objetivo general**

Evaluar el funcionamiento del motor diésel electrónico, con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera con mezclas B10.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Investigar bibliográficamente el funcionamiento de motores diésel con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera.
- Analizar la potencia, par motor y consumo de un motor diésel electrónico que trabaja con biodiésel a base de aceite de higuera con la mezcla B10
- Analizar las emisiones de gases de escape de un motor diésel electrónico que trabaja con biodiésel a base de aceite de higuera con la mezcla B10
- Comparar los datos del motor diésel electrónico, obtenidos con biodiésel y diésel.

## **1.6. Justificación**

El proyecto de investigación se alinea al Plan Nacional del Buen Vivir, en el Objetivo 11 (Ecuador, 2013) “Asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica” literal 11.1 “Reestructurar la matriz energética bajo criterios de transformación de la matriz productiva, inclusión, calidad, soberanía energética y sustentabilidad, con incremento de la participación de energía renovable” sección b “Aprovechar el potencial de desarrollo de la bioenergía, sin detrimento de la soberanía alimentaria y respetando los derechos de la naturaleza.”

El desarrollo del presente proyecto de investigación genera un impacto social debido a que con la utilización de biodiésel como combustible alternativo para el funcionamiento de un motor diésel tratamos de contrarrestar la producción de gases contaminantes que se generan al momento de la combustión y así analizar si con la utilización de un biocombustible produce un inadecuado funcionamiento del motor.

El proyecto de investigación genera un impacto ambiental positivo, ya que con la reducción de gases contaminantes se obtiene una mejor calidad de aire en las ciudades, disminuyendo los problemas de salud, que se generan por la quema de combustibles extraídos del petróleo, enfocándose principalmente en el análisis de las mezclas de diésel y biodiésel, para conocer cuáles son las curvas de par motor, potencia y consumo de un motor que presenta una mezcla B10; con lo que me permitirá conocer cuál es la respuesta del motor al trabajar con un biocombustible y cuál es la cantidad de gases que se producen.

Este proyecto también genera nuevos campos para la investigación, debido a que se necesita plantas para generación de biodiésel o conocer como es el proceso de generación y que tipo planta proveerá la mejor producción de aceite para luego procesarlo y obtener un biocombustible de alta calidad. Además, la creación de aditivos para que estos dos combustibles puedan fusionarse rápidamente y ayude al incremento y disminución de ciertas propiedades presentes en el combustible.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Biodiésel

Los biocombustibles son combustibles obtenidos a partir de biomasa, renovables, que permiten reemplazar a los combustibles fósiles obtenidos del petróleo. Se los usa mezclados con los combustibles fósiles. Los biocombustibles más difundidos son el biodiesel y el bioetanol. Las mezclas de biocombustibles con naftas o gasoil se conocen bajo las siglas EX para el caso de bioetanol y BX para el biodiesel, en donde X representa el porcentaje de mezcla, por ejemplo: E5: Etanol 5%, Nafta 95%; B7: Biodiesel 7%, Gas Oil 83% (Acosta, 2012, pág. 17).

Según la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM); indica que la composición del biodiésel es una cadena larga de ésteres monoalquílicos de ácidos grasos; derivados de aceites vegetales o grasas animales que pueden ser usados en motores del tipo Diesel. Es similar a las características del diésel que se obtiene del petróleo, como la densidad, el índice de cetano, entre otros; dando lugar a que estos dos combustibles se puedan mezclar en cualquier proporción sin generar problema alguno.

La viscosidad de los ésteres es aproximadamente dos veces superior a la del gas oil, frente a diez veces ó más de la del aceite crudo; además el índice de cetanos de los ésteres es superior, siendo adecuado para su uso como biocombustible (Palermo, 2014, pág. 20).

A continuación, se presenta una tabla comparativa de propiedades físicas y químicas entre el biodiésel y el diésel; en la cual se indica la norma ASTM establecida para cada uno de los combustibles y con una calidad semejante entre estos dos combustibles. Los biocombustibles son buenas alternativas a los combustibles fósiles porque producen dióxido de carbono sin emisiones netas de carbono al ser quemados, la biomasa libera dióxido de carbono, el cual es absorbido inmediatamente por las plantas que es la fuente de biomasa. La tabla 2.1 muestra las propiedades del diésel y del biodiésel (B100), los datos más importantes de esta tabla son su composición, la cantidad de azufre y carbono que contiene cada combustible, su número cetano, su punto de inflamación y la relación aire combustible; ya que de estos factores permitirá la realización de la mezcla y además dependerá que se produzca una correcta quema del biocombustible dentro de la cámara de combustión.

**Tabla 2.1** Propiedades del biodiésel vs el diésel fósiles del biodiésel vs el diésel fósil

Propiedades	Biodiésel	Diésel
Norma del combustible	ASTM D975	ASTM PS 121
Composición	C12-C22 FAME	C10-C21
Metilester	95,5% > 98%	-
CARBONO (% peso)	77	86.5
ASUFRE (% peso)	0 - 0,0024	0.05 MÁX
AGUA (% peso)	0.05% MÁX	161
OXÍGENO (% peso)	11	0
HIDRÓGENO (% peso)	12	13
No. CETANO	48 – 55	40 - 55
Pci (kj/kg)	37,7	41,86
Viscosidad cinem. (40° c)	1,9 - 6,0	1,3 - 4,1
Punto de inflamación (°c)	100 – 170	60 - 80
Punto de ebullición (°c)	182 – 338	188 - 343
Gravedad específica (kg/l) (60°f)	0,88	0,85
Relación aire/combustible	13,8	15

FUENTE: (TORRES, 2008, pág. 9)

### 2.1.1. El Biodiésel en Ecuador

Actualmente en el Ecuador, el biodiésel de la planta de palma es el más desarrollado en el país la Fabril es la mayor empresa productora de este tipo de combustible alternativo para motores de combustión interna. La Fabril ha exportado 16,6 millones de galones a EE. UU., Alemania y Perú, desde el 2005 y quiere convertirse en el principal proveedor del país. El año pasado, mediante el Decreto Ejecutivo nro. 1303 se dispuso que el diésel sea mezclado con biocombustible de producción nacional. Primero en una proporción del 5%, pero se debe llegar al 10% (Revista Líderes, 2014, pág. 3).

La Fabril es una de las empresas más grandes del país que produce biocombustibles para motores a diésel, la cual tiene dos plantas una ubicada en la ciudad de Guayaquil y la otra en Montecristi; estas dos plantas tienen una capacidad de producción de 12000 toneladas métricas por mes. En el Ecuador actualmente se realiza otros tipos de estudios para la producción de biodiésel, con plantas que no afecten la soberanía alimentaria del país. Otros países, especialmente en Europa, también ofrecen incentivos similares para estimular el uso de productos de origen biológico como los biocombustibles.

El Decreto Ejecutivo nro. 1303 establece que es necesario fomentar la producción y el consumo de biocombustibles debido a la importancia estratégica de este sector y a sus efectos positivos sobre la seguridad y la autosuficiencia energética del país (Delgado, 2012, pág. 15).

El Decreto Ejecutivo nro. 1303 en el Artículo 3 establece, la distribución y comercialización de la mezcla de diésel con base de biodiésel de producción nacional, se aplicará en todo el territorio nacional en una proporción del 5% de biodiésel (B5), de acuerdo con los requisitos técnicos que determine la Agencia de Regulación y Control Hidrocarburífero (Delgado, 2012, pág. 18).

### **2.1.2. Obtención del biodiésel**

El biodiésel se puede obtener de distintos cultivos oleaginosos, ya que este tipo de plantas vegetales albergan una gran cantidad de aceite en sus semillas, estos cultivos se los puede encontrar en las regiones tropicales. Actualmente solo una parte de este tipo de sembríos se los usa con propósitos comerciales, las plantas que se ocupa para la elaboración de biodiésel actualmente afectan en cierta manera la soberanía alimentaria; entre estas están la soya, el girasol, la palma, la canola, entre otras, siendo su aceite utilizado para la elaboración de productos para el consumo humano. Otro tipo de plantas que se utiliza para la elaboración de biocombustible son el algodón, la jatropha o piño y el ricino. En otros países con climas tropicales alvergan distintos tipos de plantas de biomasa, estas son: el aguaje, almendro, babasu, bacuri, castaña, chopé, coco, copoasu, huamaca huayo, huasaí, inchi, marañon, olla de mono, pijuayo, poloponta, totai, umari, uxi, entre otras; este tipo de plantas no tiene incidencia en la alimentación humana (eco13, 2009, pág. 5). El desarrollo del biodiésel, se da mediante un compuesto orgánico de ésteres monoalquílicos de ácidos de cadenas largas y cadenas cortas, para la fabricación de este biocombustible se realiza un proceso conocido como transesterificación, en el cual el aceite vegetal se mezcla con un alcohol y con un ácido inorgánico para acelerar la reacción. Para una mejor calidad de biodiésel el aceite a utilizar no debe contener agua, debido a que en el proceso este puede llegar a la saponificación y no a la transesterificación del aceite con el cual se obtendría jabón y no un biocombustible. Culminado el proceso de transesterificación se obtiene otros tipos de derivados como los jabones, la glicerina, agua, sobras de alcohol, entre otros; mediante la decantación, se da lugar separación del biodiésel y los otros derivados.

### **2.1.3. Proceso de obtención de Biodiésel**

El biodiésel se produce mediante una reacción entre el aceite vegetal con el metanol o etanol, con la ayuda de un catalizador que puede ser el hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de potasio (KOH). Para que el hidróxido de sodio (NaOH) actué tiene que

mezclarse con el alcohol, al unirse estos dos elementos se forma el metóxido de sodio que es el catalizador. A este proceso se lo conoce como transesterificación en el cual el grupo de los ésteres que contiene el aceite vegetal o las grasas al unirse con el metóxido de sodio, permite la separación de la glicerina que contiene el aceite y da como resultado el biodiésel; esto se lo realiza con el objetivo de reducir la elevada viscosidad que tiene el aceite vegetal.

A continuación, se observa la figura 2.1 en la cual se ve el proceso transesterificación, en cual se ve al grupo éster como se une con el metanol, y se denomina biodiésel a los metil ésteres de ácidos grasos derivados de aceites y grasas; y obteniendo como residuo de la reacción glicerina (SÁNCHEZ, 2011, pág. 7).

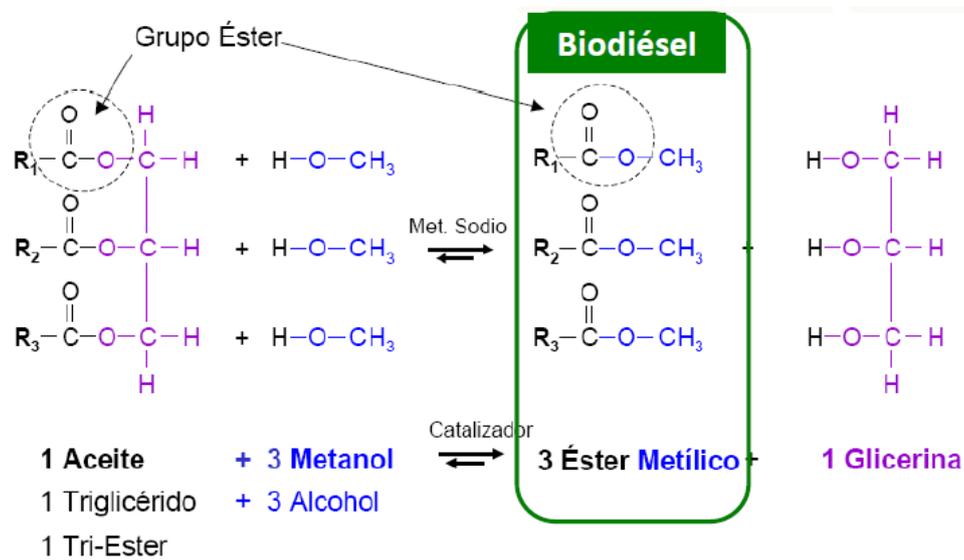


Figura 2.1 Proceso de Transesterificación del Biodiésel

Fuente: (SÁNCHEZ, 2011, pág. 9)

El próximo paso en la elaboración del biodiésel es que entre en un proceso de decantación en el cual la diferencia de densidades que tiene la glicerina con el biodiésel permite la separación de estos elementos, por la tanto la glicerina y otros derivados al ser más densos se ubican en la parte inferior. Se han hecho nuevos estudios en diferentes países para la producción de biodiésel de especies como el ricino o higuierilla; la jathopa y un sin de número plantas que no afectan la soberanía alimentaria. En el vecino país Colombia el biodiésel de higuierilla tiene una alta acogida y apuesta a ser un combustible alternativo para la utilización en motores diésel.

En Colombia se realizan pruebas en motor con mezclas biodiesel de higuierilla/diésel convencional, con diferentes proporciones de biodiésel; muestran que a medida que se incrementa la proporción de biodiesel en la mezcla aumenta el consumo específico de

combustible, disminuye el dosado relativo, la opacidad de humos se disminuye levemente, mientras que el rendimiento efectivo y las emisiones de CO y CO<sub>2</sub> prácticamente permanecen constantes biodiésel de higuera/diésel convencional (BENAVIDES, BENJUMEA, & PASHOVA, 2007, pág. 18).

## 2.2. Motores diésel electrónicos CRDi

El motor Common Rail Diesel Inyección (CRDi) fue lanzado en 1997 por la empresa *BOSCH*. El sistema recibe el nombre por el acumulador de alta presión compartido (raíl común) que suministra el combustible a todos los cilindros (BOSCH, 2010, pág. 35).



Figura 2.2 Sistema Common Rail

Fuente: (BOSCH, 2010, pág. 12)

Las innovaciones que presentan los sistemas de inyección en motores diésel permiten llegar a cumplir los estándares de las normas europeas y americanas, para un mejor control de las emisiones de los gases contaminantes. El sistema CRDi consta de los siguientes sensores y actuadores que permiten que este sistema trabaje en óptimas condiciones, estos son:

### 2.2.1. SENSORES PRINCIPALES

Sensor de régimen o CKP: permite sincronizar los inyectores a los ciclos del motor

Sensor de fase o CMP: permite distinguir entre los cilindros gemelos y conocer cuál de estos está en las diferentes fases; permitiendo inyectar el combustible en el cilindro que corresponde.

Sensor de pedal de acelerador: detecta la carga requerida por el conductor y según la pendiente.

Sensor de presión del Riel o RPS: detecta la presión en cada instante que suministra la bomba a este.

### **2.2.2. SENSORES SECUNDARIOS**

Sensor de temperatura del motor o ECT: detecta la temperatura de trabajo del motor.

Sensor de temperatura del combustible: permite detectar la temperatura del diésel antes de ingresar a la bomba; reduciendo así la presión del riel.

Caudalímetro másico de aire o MAF: controla el flujo de aire de admisión al igual emite una señal a la válvula EGR para la recirculación de gases de escape.

Sensor de presión de admisión del colector o MAP, para detectar la sobrealimentación del Turbo.

### **2.2.3. ACTUADORES PRINCIPALES Y SECUNDARIOS**

#### **2.2.3.1. Actuadores Principales:**

Inyectores hidráulicos de mandos electromagnéticos o piezoeléctricos.

Regulador de presión del riel.

Regulador de caudal de entrada a la bomba de alta presión.

#### **2.2.3.2. Actuadores Secundarios:**

Electroválvula de regulación del EGR

Relé de control de los pre calentadores.

Mariposa de parada.

Para entender su importancia, podemos decir que los sensores tienen la misma función que los sentidos para los seres humanos. El conjunto de sensores es lo que forma el sistema sensorial del motor, así mismo este constante desarrollo ha logrado sensores de

gran precisión como la capacidad de realizar diferentes tipos de toma de datos que serán procesadas por la ECU. (Roboti-k, 2016, pág. 5)

A continuación, se muestra la figura 2.3 la cual muestra la ubicación de sensores y actuadores del sistema “Common Rail”, estos están ubicados dentro de un motor en diferentes lugares de acuerdo cada marca. En la imagen se observa una ubicación relativa de cada sensor.

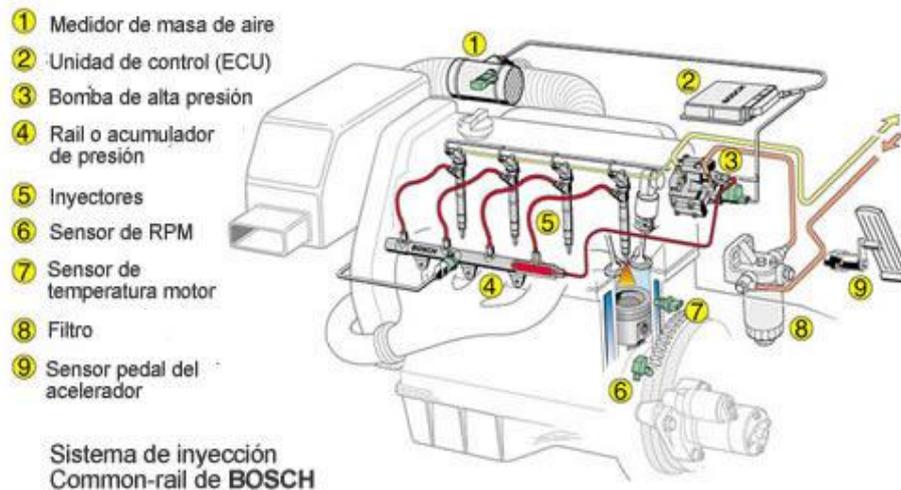


Figura 2.3 Elementos del Sistema Common Rail

Fuente: (BOSCH, 2010, pág. 25)

El sistema “Common Rail” permite aplicar funciones amplias dentro de un motor Diésel, obteniendo la libertad de controlar y regular el desarrollo de la inyección; la función principal de un motor Diésel “Common Rail” es controlar los tiempos de inyección de combustible, en el momento preciso con un caudal y presión adecuado al funcionamiento del motor. La presión de inyección se genera mediante una bomba de alta presión, la cual envía la presión al riel común en el cual se acoplan los inyectores y todos reciben una presión uniforme.

Permitiendo así cumplir con las normas internacionales impuestas a este tipo de motores; con este sistema la ECU realiza un monitoreo continuo de los sensores y actuadores, y al momento que este genere un fallo enciende la luz mil que alerta al conductor u operador que se presentó un fallo dentro del sistema.

#### 2.2.4. Bomba de Inyección

La bomba de alta presión es un elemento fundamental dentro del sistema Diesel CRDi debido a que esta es la encargada de generar la presión que se acumula dentro del riel;

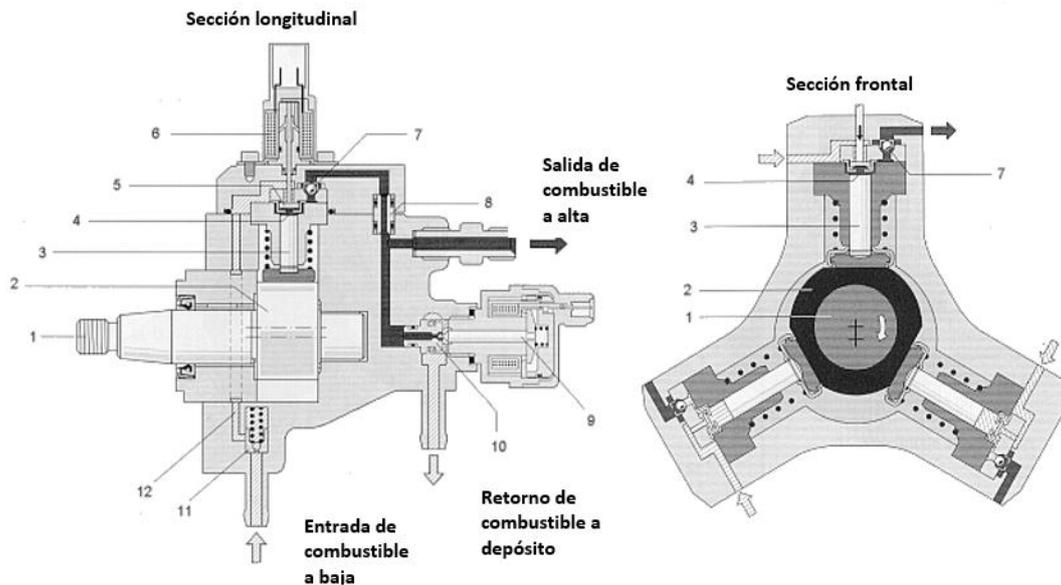
con el avance de los años este tipo de bombas se han ido evolucionando, permitiendo al sistema aumentar la presión existente dentro del riel. A continuación, se observa la tabla 2.2 la cual muestra la generación de las bombas de los sistemas Common Rail con su año y las presiones de trabajo de cada una de ellas.

**Tabla 2.2** Generación de bombas COMMON RAIL

Generación de bombas Common Rail	Año	Presiones de inyección
CRSN1	1999 -2001	1400 bares
CRSN3	2005	1800 bares
CRSN3-25	2005 - 2006	2500 bares
CRSN4	2007	2100 bares

Fuente: (BOSCH, 2010, pág. 65)

La bomba CRSN1 genera una presión de 1400 bares con la cual llega al riel común y es una de las mas antiguas apareciendo en el mercado en el año 1999. Además de las grandes emisiones de sustancias contaminantes en el medio ambiente; el consumo y la potencia son otros factores principales en la evolución tecnológica de los motores. La bomba CRSN3 es empleada en motores con requerimientos medios y altos, como es el caso de los motores de embarcaciones, cubriendo en estos motores hasta 16 cilindros logrando una presión desde 1800 hasta 2500 bares. Por último, en el año 2007 es fabricada la bomba CRSN4 generando una presión de trabajo de 2100 bares.



1. Arbol 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 2.4** Partes de la Bomba de alta presión

Fuente: (MEGANBOY, 2014, pág. 13)

La figura 2.4 presenta las partes de la bomba de alta presión y se describe su funcionamiento, el combustible del tanque llega mediante una bomba de baja presión, para entrar a la bomba de alta presión; se impulsa el combustible a través del taladro de estrangulación de la válvula de seguridad 11, y lo envía hacia el circuito de lubricación y refrigeración de la bomba. El eje de accionamiento o eje principal 1, tiene una leva excéntrica 2, que permite mover los tres émbolos de la bomba 3, hacia arriba y hacia abajo, en correspondencia con la forma de la leva (Aficionados a la Mecánica, 2014, pág. 18).

Si la presión de suministro sobrepasa la presión de apertura de la válvula de seguridad (0,5 a 1,5 bar), la bomba previa puede impulsar el combustible a través de la válvula de entrada de la bomba de alta presión, y lo envía hacia el recinto del émbolo cuando este se mueve hacia abajo (carrera de aspiración). Cuando se sobrepasa el punto muerto inferior, la válvula de entrada cierra, y el combustible en la cámara de aspiración o compresión (4) ya no puede salir. Solamente puede ser comprimido superando la presión de suministro de la bomba previa. La presión que se forma en la válvula de salida (7), en cuanto se alcanza la presión en el Rail, el combustible comprimido entra en el circuito de alta presión (Aficionados a la Mecánica, 2014, pág. 20).

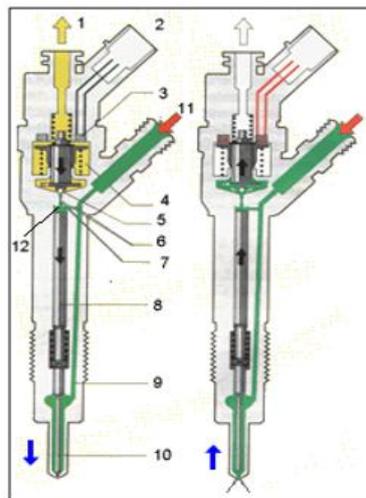
### **2.2.5. Inyectores**

Los inyectores permiten conseguir una combustión efectiva del combustible, es necesario pulverizarlo muy finamente, ya que no es como la gasolina, que al vaporizarse, se mezcla con el oxígeno del aire. Una combinación rápida y efectiva del combustible con el oxígeno del aire dentro de la cámara de combustión, esto sólo se consigue mediante el pulverizado fino y el calor generado al comprimirse el aire. (VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 57)

En los sistemas de inyección diésel Common Rail existen diferentes tipos de inyectores, los cuales han avanzado con los sistemas de inyección para mejorar el desempeño del motor, con esto se consigue más precisión a la hora de inyectar el combustible y la simplificación del sistema; ayudando a disminuir la contaminación con gases emanados después de la combustión. Existen dos tipos de inyectores electrónicos a continuación, se describe a cada uno de los inyectores y su funcionamiento.

### 2.2.5.1. Inyectores electrónicos o bobinados

Estructura del Inyector Bobinado: En la figura 2.5 se explica la estructura de un inyector electrónico, el combustible a alta presión procedente del riel entra por 11, al interior del inyector para seguir por el canal de afluencia 9, hacia la aguja del inyector 10, así como a través del estrangulador de entrada 6, hacia la cámara de control 12. La cámara de control 12, está unida con el retorno de combustible 1, a través del estrangulador de salida 7 y la electroválvula 3.



**Esquema de un Inyector**

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

Figura 2.5 Inyector Electrónico

Fuente: (Aficionados a la Mecánica, 2014, pág. 56)

Cuando la electroválvula 3, no recibe la señal de la ECU, está no se activa y el combustible que hay en la cámara de control 12, al no poder salir por el estrangulador de salida 7, presiona sobre el embolo de control 8, que a su vez aprieta la aguja del inyector 10, contra su asiento por lo que no deja salir combustible y como consecuencia no se produce la inyección.

Cuando la electroválvula esta activada entonces se abre y deja paso libre al combustible que hay en la cámara de control. El combustible deja de presionarse sobre el embolo para irse por el estrangulador de salida hacia el retorno de combustible 1, a través de la electroválvula. La aguja del inyector al disminuir la fuerza del embolo que la apretaba

contra el asiento del inyector, es empujada hacia arriba por el combustible que la rodea por lo que se produce la inyección.

Como se ve la electroválvula no actúa directamente en la inyección, sino que se sirve de un servomecanismo hidráulico encargado de generar la suficiente fuerza para mantener cerrada la válvula del inyector mediante la presión que se ejerce sobre la aguja que la mantiene pegada a su asiento.

El caudal de combustible utilizado para las labores de control dentro del inyector retorna al depósito de combustible a través del estrangulador de salida, la electroválvula y el retorno de combustible 1. Además del caudal de control existen caudales de fuga en el alojamiento de la aguja del inyector y del embolo. Estos caudales de control y de fugas se conducen otra vez al depósito de combustible, a través del retorno de combustible 1, con una tubería colectiva a la que están acoplados todos los inyectores y también la válvula reguladora de presión.

#### 2.2.5.2. Inyectores Piezoeléctrico

Un elemento piezoeléctrico es aquel al cual si se le aplica una deformación genera una tensión eléctrica. Inversamente, cuando se le aplica tensión puede manifestar una deformación mecánica.

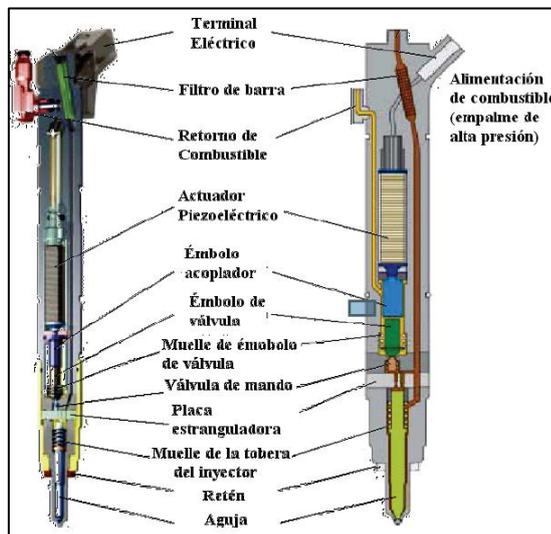


Figura 2.6 Inyector Piezo Eléctrico

Fuente: (VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 58)

Los inyectores de tipo piezoeléctrico tienen grandes ventajas respecto a los convencionales:

Tiempos de conmutación muy pequeños

Posibilidad de inyecciones múltiples en lapsos muy cortos

## Gran exactitud de dosificación

El actuador piezoeléctrico está constituido por una gran cantidad de elementos piezoeléctricos, para poder conseguir un recorrido de suficiente magnitud para la gestión del inyector. Al aplicarse la tensión, el actuador piezoeléctrico se dilata hasta 0.03mm con una tensión de excitación de 110 – 148 voltios. En la figura 6 se observa al actuador del inyector.

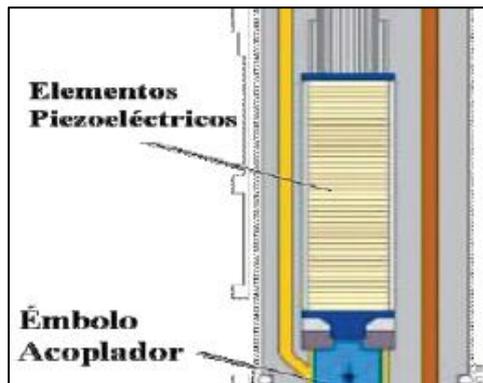


Figura 2.7 Actuador Piezoeléctrico

Fuente: (VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 58)

Cuando el inyector está en reposo el actuador no está excitado por lo que el inyector se encuentra cerrado. La válvula de mando es oprimida contra su asiento por la alta presión del combustible y por la fuerza del muelle; de esa forma queda separada la parte de alta presión con respecto a la parte de retorno de combustible. La aguja de la tobera es cerrada por la alta presión del combustible existente en la cámara de control que se encuentra por encima de la aguja. En la figura 2.8 se observa al inyector piezoeléctrico cerrado impidiendo la salida de combustible hacia la cámara.

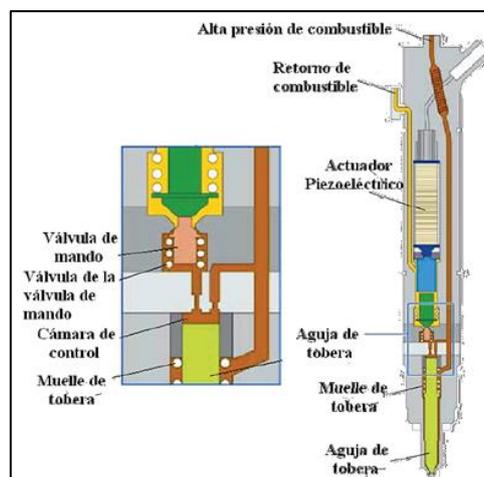


Figura 2.8 Inyector Piezoeléctrico Cerrado

Fuente: (VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 59)

Se da el comienzo de la inyección cuando la unidad de control es la encargada de iniciar el comienzo de la inyección, para ello se excita el actuador piezoeléctrico. El actuador piezoeléctrico se dilata y transmite el movimiento de dilatación sobre el émbolo acoplador. El descenso del émbolo genera una presión hidráulica en el módulo acoplador, la cual actúa a través del émbolo de válvula sobre la válvula de mando (figura 2.9).

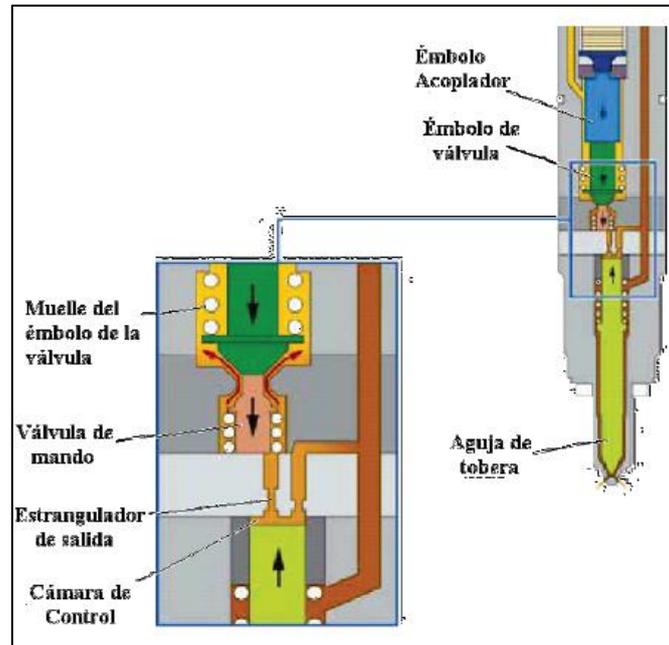


Figura 2.9 Inyector Piezoeléctrico Abierto

Fuente: (VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 64)

La válvula de mando abre obedeciendo a la fuerza hidráulica del módulo acoplador y abre así el paso del combustible a alta presión hacia la zona de retorno de combustible, el combustible en la cámara de control fluye a través del estrangulador de salida hacia el retorno. Esto hace que la presión del combustible caiga instantáneamente en la zona superior de la aguja, la aguja despegue de su asiento y la inyección comienza.

El fin de la inyección se produce en cuanto la unidad de control deja de excitar el actuador piezoeléctrico. Ambos émbolos del módulo acoplador se desplazan hacia arriba y la válvula de mando es oprimida contra su asiento (figura 9). Con esto se cierra el paso de la alta presión de combustible hacia el retorno. A través del estrangulador de alimentación fluye combustible hacia la cámara de control por encima de la aguja de la tobera; la presión de combustible en la cámara de control, aumenta de nuevo a la magnitud que tiene en el acumulador de alta presión, y cierra la aguja de la tobera. La operación de la inyección queda terminada y el inyector se encuentra nuevamente en posición de reposo.

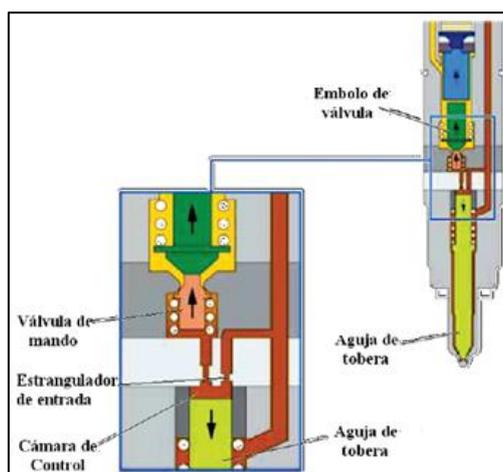


Figura 2.10 Fin de la Inyección

Fuente: (VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 66)

### 2.3. Parámetros de funcionamiento de motores “CRDi”

El desarrollo en los sistemas de los motores diésel, permitió sustituir la bomba mecánica que genera la inyección de acuerdo con el giro del cigüeñal; las presiones que este tipo de bombas eran muy bajas. El desarrollo de la tecnología permitió generar un avance dentro de estos motores, permitiendo controlar y subministrar la presión y la cantidad de combustible a inyectar, mediante la utilización de sensores y actuadores (VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg, 2014, pág. 38).

Mediante los sensores y actuadores permite controlar las funciones en ralentí y en carga baja, una presión baja de inyección hace posible que se obtenga una menor tasa de inyección y un ajuste muy preciso de la cantidad de combustible inyectado. A plena carga, las presiones altas de inyección aseguran atomización muy fina del combustible (Delphi, 2011, pág. 45).

Para comprender el funcionamiento de los motores “CRDI” se debe tener muy en claro cuáles son las funciones que cumple ECM o ECU dentro del funcionamiento del motor. En la tabla 2.3 se observa las funciones de la ECM

**Tabla 2.3** Funciones de la ECM

Entrada	Salida
Temperatura del combustible en la bomba	Corriente de accionamiento para la válvula de control de inyector
Presión del combustible en el riel	Corriente de accionamiento para la válvula de derivación del caudal de entrada
Parámetros del motor	

Fuente: (Delphi, 2011, pág. 47)

La inyección electrónica diésel es propiamente un sistema de gestión del motor capaz de monitorear y controlar todas las variables y sistemas involucrados en la entrega del combustible diésel a los cilindros bajo cualquier condición de operación con la finalidad de que dicha entrega de combustible se de en la cantidad exacta y en el momento preciso y con el mínimo de emisiones contaminantes (Alejandro, 2013, pág. 25).

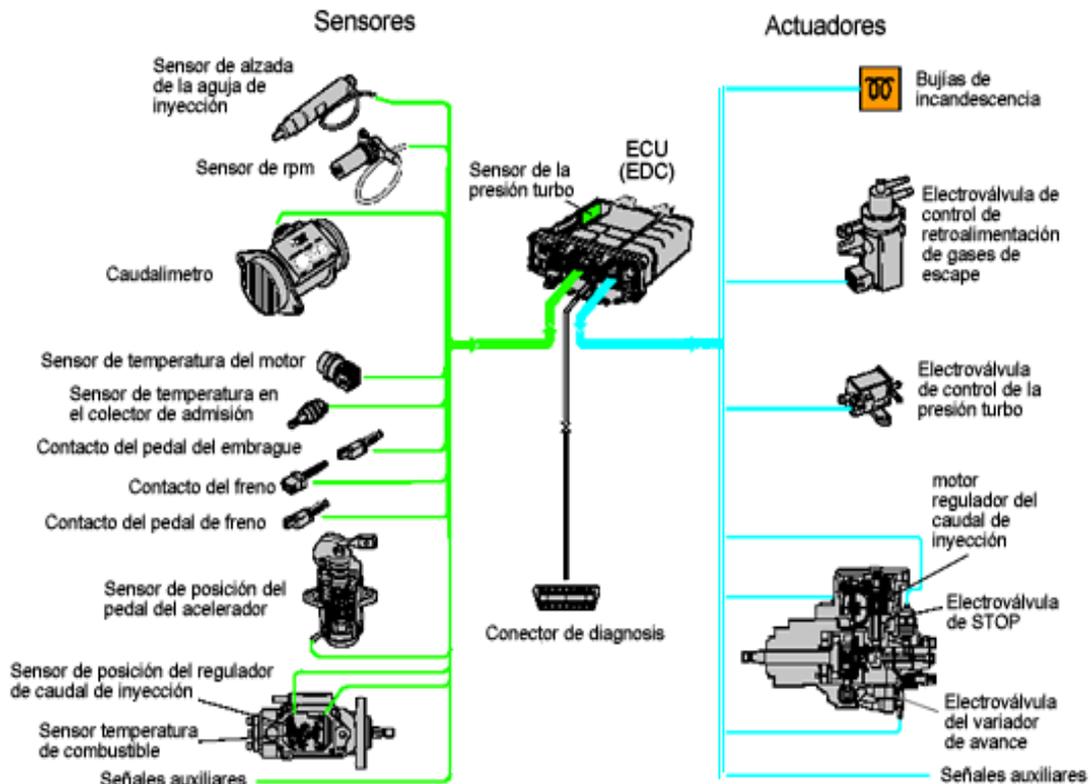


Figura 2.11 Componentes que forman la gestión Electrónica

Fuente: (MEGANEBUY, 2014, pág. 34)

Mediante la recepción de señales de los sensores y actuadores distribuidos en el vehículo como indica la figura 2.11, la ECU o ECM busca la manera de mantener todos los parámetros de funcionamiento con las señales recibidas; logrando mantener el confort y el placer de conducir sin presentar ninguna anomalía.

### 2.3.1. Funcionamiento del Sistema

El combustible almacenado en el depósito de baja presión es aspirado por una bomba de transferencia y enviado a un conducto común a todos los inyectores. Una segunda bomba de alta presión inyecta el combustible al que reparte a cada inyector con presiones entre 1500 y 1600 bares. La figura 2.12 muestra los componentes del sistema de baja y de alta presión presentes en los sistemas comun rail, estos según el fabricante.

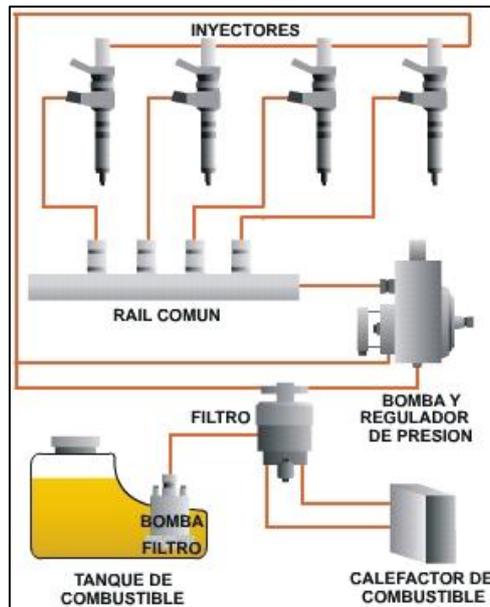


Figura 2.12 Componentes de un sistema Common Rail

Fuente: (MEGANEBY, 2014, pág. 45)

La bomba de transferencia puede ir montada en la propia bomba de alta presión o incorporada en el depósito de combustible. El conducto común es una tubería o "rampa" de la que parte una ramificación de tuberías para cada inyector de acuerdo con el número de cilindros. La principal ventaja de este sistema es que permite controlar electrónicamente el suministro de combustible, permitiendo así realizar hasta 5 pre inyecciones antes de la inyección principal con lo que consigue preparar la mezcla para una óptima combustión, esto genera un menor ruido del motor y un mejor rendimiento de este.

## 2.4. Emisiones de gases de escape

Para conocer la formación de los gases contaminantes y por qué se generan primero de debe tener muy claro cuál es la composición de los elementos del aire, este se compone con un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y un 1% de diferentes gases. Los gases que se producen después de la combustión de los motores diésel; se generan por diferentes factores los cuales describiremos a continuación a cada uno de ellos y por qué se generan: El N<sub>2</sub> o Nitrógeno es un gas no combustible, incoloro e inodoro. El nitrógeno es un componente elemental de nuestro aire respiratorio y se alimenta al proceso de la combustión conjuntamente con el aire de admisión. La mayor parte del nitrógeno aspirado

vuelve a salir puro en los gases de escape; sólo una pequeña parte se combina con el oxígeno O<sub>2</sub> (óxidos nítricos NO<sub>x</sub>) (Maco, 2014, pág. 16).

El O<sub>2</sub> o Oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido al igual que el gas anterior. Es el componente más importante de nuestro aire con un 21 %. Ingresa al motor siendo aspirado a través del filtro de aire, igual que el nitrógeno (Maco, 2014, pág. 16).

El CO<sub>2</sub> o Dióxido de carbono es un gas incoloro, no combustible. Se produce al ser quemados los combustibles que contienen carbono (p. ej. gasolina, gasoil). El carbono se combina durante esa operación con el oxígeno aspirado y como resultante del proceso químico se forma este gas. El dióxido de carbono CO<sub>2</sub> reduce el estrato de la atmósfera terrestre que suele servir de protección contra la penetración de los rayos UV (la tierra se calienta) (Maco, 2014, pág. 17).

El CO o Monóxido de carbono se produce con motivo de la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Es un gas incoloro, inodoro, explosivo y altamente tóxico. Bloquea el transporte de oxígeno por parte de los glóbulos rojos. Es mortal, incluso en una baja concentración en el aire respiratorio. En una concentración normal en el aire ambiental se oxida al corto tiempo, formando dióxido de carbono CO<sub>2</sub> (Maco, 2014, pág. 17).

El SO<sub>2</sub> o Dióxido de azufre es un gas incoloro, de olor penetrante, no combustible. El dióxido de azufre o anhídrido sulfuroso propicia las enfermedades de las vías respiratorias, pero interviene sólo en una medida muy reducida en los gases de escape. Si se reduce el contenido de azufre en el combustible es posible disminuir las emisiones de dióxido de azufre (Maco, 2014, pág. 17).

Los HC o Hidrocarburos surgen en los gases de escape después de una combustión incompleta. Los hidrocarburos HC se manifiestan en diferentes combinaciones y actúan de diverso modo en el organismo. Algunos de ellos irritan los órganos sensoriales, mientras que otros son cancerígenos como por ejemplo el benceno (Maco, 2014, pág. 17).

Las partículas de hollín MP son características en los gases de escape de un motor diesel, 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, pág. 17).

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. A continuación, se presenta la tabla 2.4, detallando algunos impactos que genera a la salud.

**Tabla 2.4** Impacto de los gases de escape a la salud

Emisiones exhaustivas	Impacto en la salud
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 diesel y pueden contribuir a la enfermedad pulmonar

Fuente: (Jiaqiang E, 2017, pág. 20)

Para evitar el exceso de estos gases en ciudades en desarrollo, se han creado organizaciones que regulan las emisiones de gases en los motores a combustión; para reducir los impactos ambientales y tratar de tener un aire mas puro; mediante normas a las cuales se rige cada país.

#### **2.4.1. Normas de emisiones de gases contaminantes**

Para la reducir la producción de gases contaminantes los gobiernos han establecido normas con los rangos permitidos a cada gas, según el nivel de toxicidad para evitar afecciones a la salud de las personas y el medio ambiente, obteniendo un aire limpio que pueda se pueda respirar y favoreciendo a la reducción del calentamiento global . De acuerdo con la norma vigente del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) mediante la norma técnica NTE INEN 2 207:2002 establece cuales son los límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres de diésel, en la tabla 5 muestra los gases como el CO, los HC y NOx con la cantidad de emisiones en ciclos americanos establecido en nuestro país.

**Tabla 2.5** Límites de emisiones permitidos para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año modelo 2000 (ciclos americanos)

CATEGORIA	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	Nox g/km	Partículas g/km
Vehículos Livianos	Todos	Todos	2.10	0.25	0.62	0.12
Vehículos Medianos	≤ 3860	≤ 1700	6.2	0.5	0.75	0.16
		> 1700 ≤ 3860	6.3	0.6	1.1	0.28
Vehículos Pesados	> 3860	Todos	15.5	1.3	5.0	0.10

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 8)

Vehículo liviano. Es aquel vehículo automotor tipo automóvil o derivado de éste, diseñado para transportar hasta 12 pasajeros. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 9)

Vehículo mediano. Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto vehicular es menor o igual a 3 860 kg, cuyo peso neto vehicular es menor o igual a 2 724 kg y cuya área frontal no exceda de 4,18 m<sup>2</sup>. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 9)

Vehículo pesado. Es aquel vehículo automotor cuyo peso bruto del vehículo sea superior a 3 860 kg, o cuyo peso neto del vehículo sea superior a 2 724 kg, o cuya área frontal excede de 4,18 m<sup>2</sup>. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 9)

Mediante una serie de ciclos de conducción utilizados para diversos fines de legislación, se usan diferentes pruebas de conducción para certificar las emisiones de gases de los automóviles y camiones ligeros, de acuerdo a procedimientos de ensayo; el Procedimiento Federal 75 (FTP75), es un ciclo que compila de diversas rutas de conducción del mundo real realizadas en las calles. (Daham, 2015, pág. 8)

La mayoría de países utilizan este ciclo de conducción para comprobar la cantidad de gases contaminantes que se producen después de la combustión del diésel; la norma ecuatoriana utiliza el ciclo FTP- 75, dentro de este procedimiento se contempla el ciclo IM240 para la obtención del límite de gases permitidos debido a que es una simulación de un circuito urbano.

En la tabla 2.6, se observan los límites máximos permitidos de emisiones de gases para motores diésel mediante ciclos europeos, en la misma se muestra la cantidad de CO, HC,

NOx, en ciclos los europeos los hidrocarburos y los monóxidos de nitrógeno se unen, los automóviles se dividen en las siguientes categorías.

**Tabla 2.6** Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor de diésel (prueba dinámica) a partir del año 2000 (ciclos europeos)

CATEGORÍA	Peso bruto del vehículo kg	Peso del vehículo cargado kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/km	Partículas g/km
M1 <sup>(1)</sup>	≤ 3500	Todos	2.72	0.97		0.14
M1 <sup>(2)</sup> , N1		≤ 1250	2.72	0.97		0.14
		> 1250 ≤ 1700	5.17	1.4		0.19
		> 1700	6.9	1.7		0.25
N2, N3, M2, M3 <sup>(3)</sup>	> 3500	Todos	4.0	1.1	7.0	0.15

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 10)

Categoría M. Vehículos automotores destinados al transporte de personas y que tengan por lo menos cuatro ruedas. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 11)

Categoría M1. Vehículos automotores destinados al transporte de hasta 8 personas más el conductor. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 11)

Categoría M2. Vehículos automotores destinados al transporte de más de 8 personas más el conductor y cuya masa máxima no supere las 5 toneladas. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 11)

Categoría M3. Vehículos destinados al transporte de más de 8 personas más el conductor y cuya masa máxima supere las 5 toneladas. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 11)

Categoría N. Vehículos automotores destinados al transporte de carga, que tengan por lo menos cuatro ruedas. (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2002, pág. 11)

Los autos de pasajeros alimentados por diésel originalmente estaban cubiertos por las mismas normas que los autos de gasolina, hasta que se introdujo la regulación de emisiones de partículas en 1988. Desde entonces, si bien están regulados por las mismas directivas que para la gasolina, los autos de pasajeros con motor diésel se han evaluado según una variedad diferente de ciclos de prueba y tienen límites diferentes para alcanzar el cumplimiento. Existen las normativas europeas sobre emisiones contaminantes denominadas norma EURO<sub>x</sub>, estas normativas indican a la industria del automóvil los

límites de las emisiones contaminantes para la homologación de nuevos modelos de vehículos; el cambio en los límites para autos de pasajeros con motor diésel empezó desde Euro 1 en la tabla 2.7 se muestra las reformas existentes hasta la fecha. (Lurizol, 2017)

**Tabla 2.7** Normas Euro para vehículos diésel

<b>Norma</b>	<b>Aprobación de tipo</b>	<b>CO</b>	<b>HC + NOx</b>	<b>NOx</b>	<b>PM</b>
		g/km	g/km	g/km	g/km
EURO 1	1 jul de 1992	3.25	1.50	-	0.14
EURO 2	1 ene de 1996	2.72	0.97	-	0.08
EURO 3	1 ene de 2000	0.64	0.56	0.5	0.05
EURO 4	1 ene de 2005	0.5	0.3	0.25	0.025
EURO 5A	1 sep de 2009	0.5	0.23	0.18	0.005
EURO 5B	1 sep de 2011	0.5	0.23	0.18	0.005
EURO 6	1 sep de 2014	0.5	0.17	0.08	0.005

Fuente: (Lurizol, 2017, pág. 3)

## 2.5. Uso de biodiésel en motores electrónicos CRDi

En la actualidad han hecho más familiares la mezcla de biodiésel con el diésel, con la finalidad de mejorar sus propiedades, ayudando a reducir los gases contaminantes que este produce. Las Organizaciones Mundiales Ambientales tiene el objetivo de contrarrestar la cantidad de emisiones contaminantes a largo plazo, permitiendo a las naciones buscar combustibles alternativos que sean económicos y no produzcan un impacto ambiental; y tratando de reducir la dependencia de los combustibles basados en el petróleo.

Con el uso de un biocombustible en nuestro caso biodiésel, se muestran diferentes cambios en el funcionamiento del motor CRDi; dado que el motor está calibrado para el uso de diésel y no para el uso de un biocombustible dando lugar a diferentes tipos de comportamiento al momento que este trabaje con un tipo de mezcla o combustible alternativo. El motor presenta diferentes anomalías siendo notorias cuando se realizan pruebas dentro de un dinamómetro; estas anomalías son la pérdida de potencia, también presenta retrasos al encendido, produciendo que el motor no adquiera la temperatura optima de funcionamiento como establece el fabricante durante la combustión y la reducción del torque. (Jiaqiang E, 2017, pág. 19)

Este fenómeno se da debido a que a la densidad que tiene un biocombustible y el poder calorífico que tienen, al ser mezclado con el diésel las propiedades de estos dos combustibles se mezclan produciendo el cambio de funcionamiento dentro del motor, por lo que hay una variación en la atomización de dicho combustible.

Para que el motor CRDi trabaje sin ningún tipo de problemas al usar un biocombustible, este requiere una adaptación la cual permita que el combustible alternativo alcance presiones más elevadas; permitiendo al combustible una mejor atomización dentro de la cámara de combustión y así poder alcanzar su punto de inflamación y adaptarse correctamente al funcionamiento del motor. (Malayalamurthi, 2016, pág. 17)

## 2.6. Equipos de prueba de trenes de potencia

Los equipos de trenes de potencia o dinamómetros son equipos en el cual se pone a prueba el motor de un vehículo, para poder medir cual es la capacidad que el motor puede transportar sin presentar algún desperfecto. Los dinamómetros son utilizados para medir aspectos del motor como las RPM la aceleración y el consumo, estos se los encuentra en el mercado de diferentes tamaños y permiten la medición de los parámetros del motor utilizando diferentes métodos. (Almeida, 2015, pág. 45)

El objetivo de realizar este tipo de pruebas en un dinamómetro es analizar el comportamiento del motor, y obtener datos como: su par motor, potencia desarrollada, la potencia absorbida por rozamiento; y así estudiar la cantidad de consumo de combustible, su rendimiento y cuál es la pérdida de calor presente en un motor. En la actualidad existen dos tipos de dinamómetros que se encuentran con facilidad, los dinamómetros de motor y los dinamómetros de chasis, cada uno de ellos permite realizar las pruebas anteriormente dichas. A continuación, describiremos cada uno de ellos y cuál es su aplicación en automoción, para posteriormente obtener una diferencia.

*Dinamómetro de motor:* Los dinamómetros del motor son a menudo simplemente un elemento de un sistema más grande de diagnóstico conocido como un banco de pruebas del motor. Utilizado principalmente por los fabricantes de automóviles y motores (Almeida, 2015). En la figura 2.13 se muestra un dinamómetro de motor.



Figura 2.13 Dinamómetro de Motor

Fuente: (SAENZ, 2014, pág. 6)

*Dinamómetros de chasis o rodillos:* se utilizan para obtener las curvas de potencia, par motor y consumo específico de combustible de un motor de combustión interna, así como para monitorear el comportamiento de los parámetros que describen su funcionamiento. (Javier, 2010) En la figura 2.14 se observa un dinamómetro de rodillos

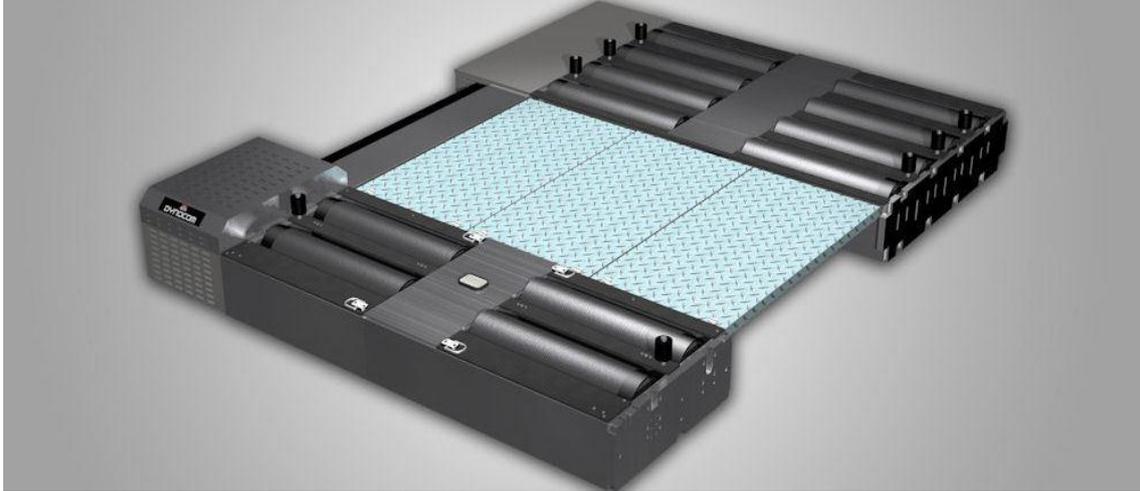


Figura 2.14 Dinamómetro de Rodillos

Fuente: (DYNOCOM INC, 2014, pág. 10)

Para la realización del ensayo se colocan las ruedas motrices del vehículo sobre los rodillos. Seguidamente se fijan los sistemas que garantizan que el vehículo permanezca inmóvil durante el ensayo. Se arranca el motor y comienza la prueba, la cual se desarrolla en una marcha determinada, por lo general 3ra. o 4ta. Se parte desde un número bajo de rpm y se acelera a fondo hasta el número de máximo de rpm deseado, allí se libera el acelerador y el motor retorna paulatinamente al régimen de inicio. (Javier, 2010, pág. 23) Una vez realizado las pruebas, el dinamómetro se encarga de generar una lista de datos, para la posterior tabulación; con los cuales se obtiene las gráficas de par motor y potencia del vehículo, además permite realizar pruebas de emisiones para poder controlar la cantidad de gases contaminantes que genera el motor, con lo cual se corrobora si el motor cumple las normas EURO o las normas de emisiones de cada país.

## 2.7. Glosario

*Biodiésel:* es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales.

*Higuerilla:* es un arbusto de la familia eufordbiáceas del cual se puede extraer aceite.

*Transesterificación:* es el proceso para obtención de biodiésel, que consiste en combinar el aceite vegetal con un alcohol ligero, normalmente metanol y deja como residuo glicerina que se separa para emplearlo en otras industrias

*Glicerina:* es una sustancia incolora y dulce que se obtiene de aceites vegetales y animales, se emplea en la industria farmacéutica y cosmética y para la obtención de nitrogligerina.

*Electroválvula:* es una válvula electromecánica diseñada para controlar el paso de un fluido por un conducto o una tubería, la válvula se mueve mediante una bobina solenoide

*Ésteres:* son compuestos que se forman por la unión de ácidos con alcoholes generando agua como subproducto.

*Ph:* coeficiente que indica el grado de acidez, basicidad de una solución acuosa.

*Decantación:* procedimiento para separar dos sustancias mezcladas, una líquida de otra que no lo es o dos líquidos inmiscibles (agua – aceite) mediante el vertido de la más densa

*Hollín:* sustancia negra muy fina y grasienta que forma el humo y queda adherida a la superficie por donde esta sale.

*Hidrocarburo:* compuesto químico formado por carbono e hidrógeno.

## CAPÍTULO III

### 3. PROPUESTA

#### 3.1. Proceso de obtención del biodiésel a utilizar

El biocombustible se lo desarrolla a partir de aceite de higuera o ricino, dentro del proceso de elaboración del biodiésel se empieza por asignar las cantidades de los elementos a utilizar que son el metanol, hidróxido de sodio y el aceite de higuera. Una vez obtenido las cantidades de cada material; se procede a disolver en el metanol y el NaOH en un vaso volumétrico utilizando un agitador.

Una vez realizada esta disolución de los dos elementos se procede a comprobar en un tubo de ensayo con el reactor fenolftaleína, que la disolución presente un color rosado intenso con lo cual se comprueba que el pH de la disolución está en perfectas condiciones, según el principio de química analítica. Otra forma de comprobar el pH de la disolución es con un medidor de pH, este debe dar un valor de 11 y es representado por el color azul. (Ramos, 2016, pág. 35)

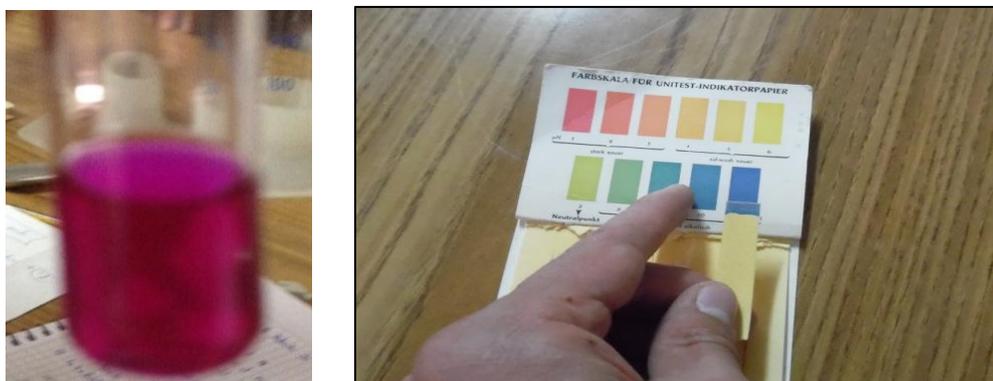


Figura 3.1 Comprobación del pH de la disolución

Fuente: (Ramos, 2016, pág. 37)

Terminada la disolución entre el metanol y el hidróxido de sodio se mide el aceite de higuera en una probeta volumétrica de  $1000\text{cm}^3$ . Se introduce el aceite de higuera al reactor con metóxido de sodio para empezar el proceso de transesterificación para la obtención del biodiésel.

El reactor debe trabajar a una temperatura entre  $45^\circ$  y  $55^\circ$  centígrados; el aceite y el metóxido de sodio deben estar agitados de 3000 a 3500 rpm durante un lapso de tres horas para que el proceso de esterificación se cumpla con normalidad. (Ramos, 2016, pág. 38)

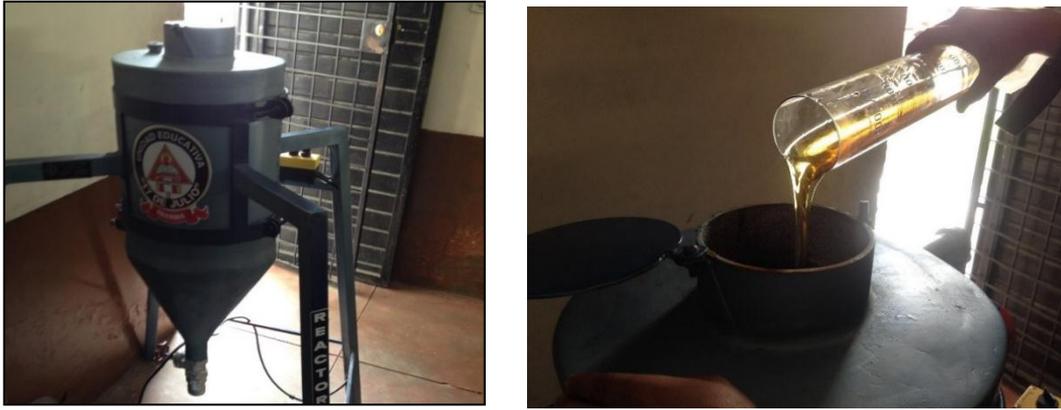


Figura 3.2 El Reactor e introducción del aceite de Higuierilla

Es importante que en el transcurso del proceso estar revisando que el pH vaya reduciendo hasta que llegue a un punto neutro. Concluidas las tres horas se debe extraer el biodiésel del reactor y dejar reposar la mezcla para que se pueda separar el biodiésel de la glicerina; la separación de la glicerina puede tardar alrededor de un día. (Ramos, 2016, pág. 40)

Una vez realizada la separación de la glicerina del biocombustible se debe separar esta en envases diferentes, y empezar con el proceso de lavado del biocombustible. El pH que se obtiene después de la reacción es de 9, para que el biodiésel esté listo para el uso, este tiene que tener un pH de 7 a 7.5 (Ramos, 2016, pág. 40).



Figura 3.3 Extracción del biodiésel después de la transesterificación

El lavado del biocombustible se lo hace con la finalidad de reducir su alcalinidad, se reduce su pH al punto de que se lo pueda utilizar ya sea en B100 o Bx, de acuerdo a los diferentes usos que se los quiera dar. Dentro del proceso de lavado, el biocombustible reacciona saponificándose, mediante la decantación este se separa y queda la producción real. Para extraer pequeñas moléculas de agua que se adquiere durante este proceso, se lo

caliente; el pH final es 7 a 7.5; finalizado el proceso se puede envasar y está listo para realizar análisis químicos.



Figura 3.4 Proceso de lavado del Biodiésel

En la figura 3.4 se observa el proceso del lavado del combustible; y en la figura 3.5 se observa el proceso de evaporación de agua que absorbe el biocombustible durante el proceso de lavado.



Figura 3.5 Proceso de Evaporación de Agua

Fuente: (Ramos, 2016, pág. 45)

En la tablas 3.1, se observa las características fisicoquímicas que tiene la mezcla a usarse dentro del proyecto, en la cual se identifica diferentes aspectos importantes tales como el punto de inflamación que es de 72°Celcius, el porcentaje de azufre que contiene la mezcla es de 0,0148%P, el índice se Cetano de la misma que es de 51; al igual se identifica con que norma se realizó cada una de estas pruebas en el biocombustible.

Realizando una comparación entre las propiedades de la mezcla B10 y las propiedades del diésel se tiene una diferencia en su índice de centano y su punto de inflamación; siendo

el diésel un combustible que permite liberar más eficientemente su poder calorífico al momento de usarse dentro del motor.

**Tabla 3.1** Análisis de fisicoquímico del biodiésel a base de higuerilla mezcla B10

DETERMIANACIÓN	UNIDADES	MÉTODOS	RESULTADO
DENSIDAD API A 60° F	°API	PNE/DPEC/P/ ASTM D-287	34,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN	°C	PNE/DPEC/P/ ASTM D-92 PNE/DPEC/P/ ASTM D-93	72,1
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)	%V	ASTM D-1007	0,05
AGUA POR DESTILACIÓN	%V	ASTM D-95	0,050
CENIZAS	%P	ASTM D-482	0,0080
VISCOSIDAD CINÉTICA A 40°C	cSt	PNE/DPEC/P/ ASTM D-445	4,21
AZUFRE	%P	PNE/DPEC/P/M1 04 REF ASTM D- 4294	0,0148
RECIDUO CARBONOSO SOBRE 10 % DE RECIDUO DE DESTILACIÓN ASTM D-86	%P	ASTM D-189	0,13
CORROCIÓN A LA LÁMINA DE CU	Unidad de corrosión	PNE/DPEC/P/ ASTM D-130	1b
INDICE DE CETANO CALCULADO		PNE/DPEC/P/ ASTM D-287	51
SODIO	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D- 5863/APHA 3111B	28,418
POTASIO	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D- 5056/APHA 3111B	7,268
CALCIO	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D- 5056/APHA 3111B	4127,586
MAGNESIO	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D- 5056/APHA 3111B	10,268
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90%	°C	ASTM D-86	350,7

Fuente: (Echeverria, 2018, pág. 45)

### 3.2. Aspectos técnicos del vehículo de prueba a utilizar

El Kia Sorento EX es un vehículo de clase SUV, que permite ser usado ya sea en la ciudad o en las zonas rurales, cuenta con chasis robusto y una transmisión 4x4; con una carrocería espaciosa y moderna; en la tabla 8 se presenta las especificaciones técnicas del vehículo, la cual muestra datos que nos serán de gran ayuda para el proyecto, entre estos está la potencia máxima, el par máximo, la velocidad máxima, el consumo de combustible.

**Tabla 3.2** Especificaciones Técnicas Del Vehículo

<b>Versión:</b>	2.5 CRDi EXII
<b>Combustible:</b>	Diésel
<b>Potencia Máxima:</b>	170 Cv a 3800 rpm
<b>Par Máximo:</b>	392 Nm a 2000 rpm
<b>Nº de cilindros:</b>	4 en línea
<b>Cilindrada:</b>	2497 cc
<b>Distribución:</b>	Doble árbol de levas en cabeza (DOHC)
<b>Alimentación:</b>	Diesel "Common rail"
<b>Tracción:</b>	4x4
<b>Caja de cambios:</b>	Caja automática secuencial
<b>Capacidad del depósito:</b>	80 litros
<b>Aceleración (0-100km/h):</b>	7,3 segundos
<b>Velocidad Máxima:</b>	182 km/h
<b>Consumo Urbano:</b>	11,0 l/100km
<b>Consumo extraurbano:</b>	7,3 l/100km
<b>Consumo Medio:</b>	8,6 l/100km
<b>Emisiones Co2:</b>	228 gr/km

Fuente: (KIA, 2012, pág. 20)

### 3.3. Prueba de emisión de gases

El lavado del biocombustible se lo hace con la finalidad de reducir su alcalinidad, se reduce su pH al punto de que se lo pueda utilizar ya sea en B100 o Bx, de acuerdo a los diferentes usos que se los quiera dar. Dentro del proceso de lavado, el biocombustible reacciona saponificándose, mediante la decantación este se separa y queda la producción real. Para extraer pequeñas moléculas de agua que se adquiere durante este proceso, se lo

calienta; el pH final es 7 a 7.5; finalizado el proceso se puede envasar y está listo para realizar análisis químicos.

A continuación, se presenta la figura 3.6, la cual es la gráfica del ciclo IM240, que un segmentos seleccionado del ensayo federal 75 (FTP-75), que es un ciclo de prueba; este se utiliza para la ejecución de pruebas de laboratorio que permite conocer cuáles son las emisiones de gases de los vehículos ligeros y obtener cual es el consumo urbano que está generando el automóvil.

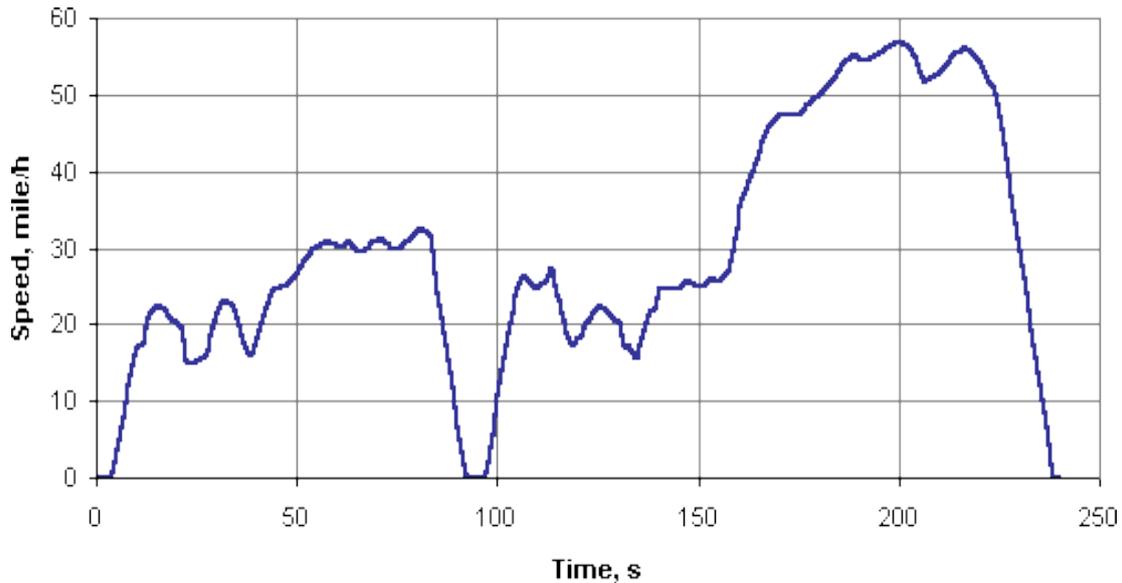


Figura 3.6 Ciclo de Conducción IM240

Fuente: (Miller, 2016, pág. 14)

El ciclo de conducción IM240, se realiza en un tiempo de duración 240 segundos con una distancia de 1,96 millas (3,1 km) con una velocidad media de 29,4 millas / h (47,3 km/h) y una velocidad máxima de 56,7 millas / h (91,2 km/h); del cual se obtiene la cantidad de gases contaminantes del motor. (Miller, 2016, pág. 14)

Conociendo los detalles del ciclo a utilizar se procede a realizar las pruebas de emisiones de gases con cada uno de los combustibles se realizan cinco pruebas, finalizado el proceso de prueba se hace una recolección de datos para tabularlos; los resultados de cada prueba permiten identificar cuáles son los gases emanados por el motor, al igual conocer cuál es el consumo que se generó al culminar cada prueba realizada; además se puede comparar con los parámetros establecidos por la norma nacional y las normas EURO; permitiendo obtener los datos precisos para verificar si con cada combustible llega el vehículo cumplir con las normas impuestas.

### 3.3.1. Procedimiento de medición

Para obtener los resultados de los gases contaminantes que emana el vehículo, se empieza ubicando en el dinamómetro, siguiendo los parámetros de seguridad establecidas por el laboratorio, se ancla al automóvil correctamente para evitar algún tipo de accidente durante el tiempo de prueba. Posteriormente se desconectan las mangueras de entrada y retorno de combustible y se lo conecta a un tanque alternativo con el cual se realizan las pruebas de consumo, emisiones, torque, potencia. En la figura 3.7, se muestra el vehículo Kia Sorento anclado al dinamómetro.



*Figura 3.7 Vehículo de Prueba Sobre el Dinamómetro*

Mediante el programa Eurosystem, el cual permite simular el ciclo de conducción IM240, se puede efectuar las pruebas de emisiones y consumo de combustible, culminadas las pruebas se consiguen los datos de los gases contaminantes y los datos del consumo que el motor generó durante todo el ciclo, posteriormente se realiza la tabulación para la obtención los factores de emisión y la cantidad de combustible; esto se lo debe hacer para cada prueba efectuadas en el vehículo.

### 3.3.2. Resultados de emisiones con diésel

Los factores de emisión con el diésel como combustible se consiguen mediante el desarrollo de cinco pruebas, las cuales utilizan el ciclo IM240 para la elaboración de estas, permitiendo obtener datos de los gases emanados a diferentes revoluciones del motor;

cada prueba realizada da un resultado diferente que al final se hace un promedio general entre los resultados de cada prueba para tener un índice de tolerancia.

**Tabla 3.3** Factores de emisión con diésel

PRUEBAS	FCO[g/Km]	FHC[g/Km]	FNOx[g/Km]]
1	7,390	0,302	1,024
2	0,138	0,000	0,195
3	0,044	0,030	0,247
4	0,029	0,046	0,178
5	0,041	0,068	0,316
<b>Promedio Total</b>	<b>1,528</b>	<b>0,089</b>	<b>0,392</b>

En la tabla 3.3 se observan los datos obtenidos de diferentes gases de escape de cada una de las pruebas y su promedio total, el monóxido de carbono (CO) presenta un promedio de 1,528; los hidrocarburos presentan un promedio de 0,089 y el monóxido de nitrógeno presentan un promedio de 0,392; estos tres gases son los más contaminantes que se originan después de la combustión.

La figura 3.8, muestra los resultados de cada prueba realizada con diésel en la cual se observa la formación de CO, HC y NOx; comparando cada uno de los resultados obtenidos ante la norma nacional e internacional se comprueba que el vehículo cumple fácilmente los estándares nacionales y alcanza a nivel internacional la norma EURO 4.

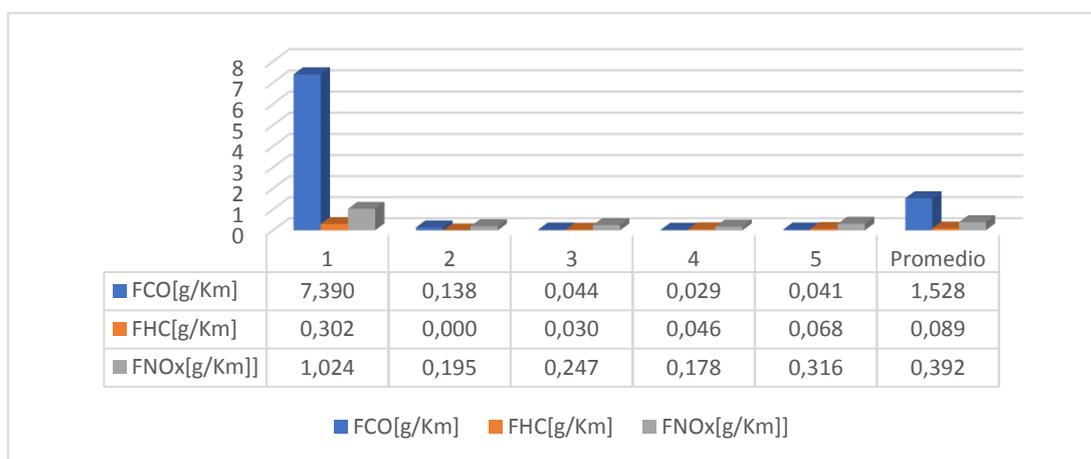


Figura 3.8 Factores de Emisión con diésel

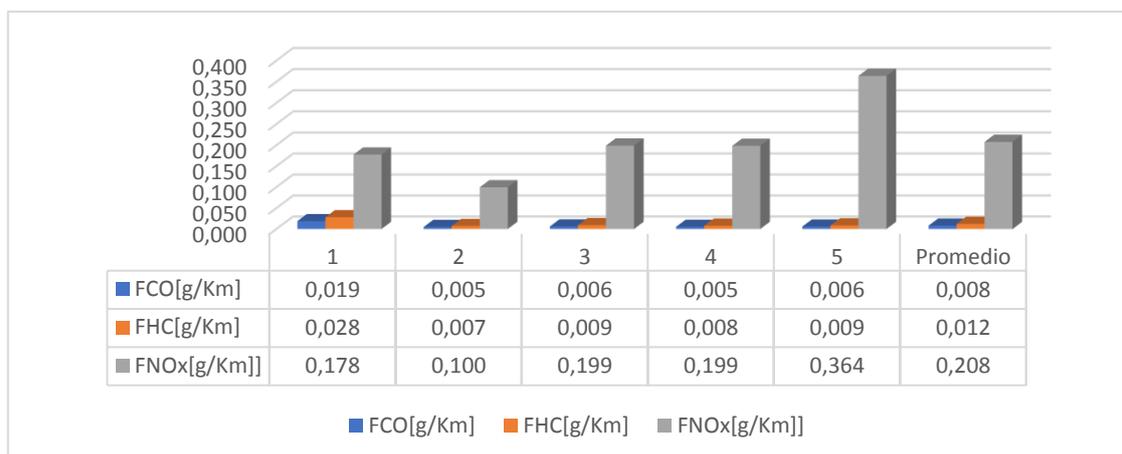
### 3.3.3. Resultados de emisiones con biodiésel

Culminadas las pruebas con el diésel se procede a realizalo con el biodiésel (B10), siguiendo los mismos parámetros con las que se efectuaron las pruebas anteriores. Finalizado el proceso de trabajo del motor con el biocombustible, se hace un promedio entre los resultados de las cinco pruebas para tener un índice de tolerancia.

**Tabla 3.4** Factores de emisión con mezcla B10

PRUEBAS	FCO[g/Km]	FHC[g/Km]	FNOx[g/Km]]
1	0,019	0,028	0,178
2	0,005	0,007	0,100
3	0,006	0,009	0,199
4	0,005	0,008	0,199
5	0,006	0,009	0,364
<b>Promedio Total</b>	<b>0,008</b>	<b>0,012</b>	<b>0,208</b>

En la tabla 3.4 se presenta los datos obtenidos de diferentes gases de escape obtenidos con el promedio total en el cual monóxido de carbono (CO) presenta un promedio de 0,008; los hidrocarburos presentan un promedio de 0,012 y el monóxido de nitrógeno presentan un promedio de 0,208; estos tres gases son los más contaminantes que se originan después de la combustión.



**Figura 3.9** Factores de Emisión con Biodiésel (B10)

La figura 3.9, muestra los resultados de cada prueba realizada con biodiésel (B10) en la cual se observa la formación de CO, HC y NOx; si se compara cada una de las pruebas obtenidas con la norma nacional e internacional se comprueba que el vehículo cumple fácilmente los estándares nacionales y alcanza a nivel internacional la norma EURO5.

### 3.4. Consumo de combustible

Las pruebas del consumo de combustible van a la par con las pruebas de emisiones, posteriormente se desconectan las mangueras de entrada y retorno de combustible propias del vehículo, culminada esta operación se conectan mangueras auxiliares a un tanque alternativo a los conductos de entrada y retorno del combustible para la realización de las pruebas debido a que con la utilización de un talque alternativo se puede realizar la medición

del consumo sin tener que desmontar el tanque del vehículo y extraer todo el combustible almacenado en el.

En el depósito externo se colocan cinco litros de combustible antes de empezar cada una de las pruebas, al finalizar estas se retira el combustible sobrante y se procede a realizar las mediciones del consumo. A continuación, se muestra la figura 24, la cual indica el depósito de combustible externo, con el matraz y la probeta volumétrica que son los implementos utilizados para el desarrollo de las pruebas.



*Figura 3.10 Depósito de combustible y Materiales de Medición*

Para obtener los datos del consumo se debe finalizar cada prueba de gases, y efectuar las mediciones del gasto de combustible en el tiempo y distancia establecido en el ciclo IM240. Una vez culminada la prueba se retira el sobrante de combustible y se lo coloca en un matraz de cinco litros; este ya no va a tener la medida correcta para ello con la utilización de una probeta volumétrica completamos en el matraz y observamos el consumo en la probeta.

#### **3.4.1. Consumo con diésel**

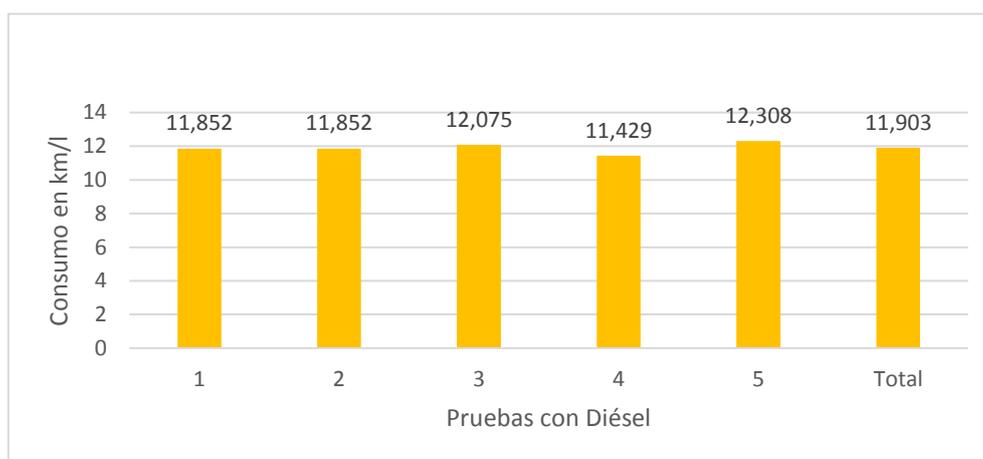
Después cada prueba realizada con el diésel, se obtiene los datos del consumo en km/Lt, los cuales permiten evidenciar el gasto que genera el vehículo al usar este combustible, cabe recalcar que los datos que se obtiene del consumo se da en la distancia establecida por el ciclo de conducción IM240 que es de 3,1 km.

La tabla 3.5, muestra el consumo que se obtiene durante cada una de las pruebas realizadas con el diésel en el cual se evidencia que hay una variación fluctuante de un 4% del resultado menor hasta el resultado mas alto que es el de la prueba 5.

**Tabla 3.5** Consumo de combustible con diésel

Pruebas	CONSUMO en km/l
1	11,852
2	11,852
3	12,075
4	11,429
5	12,308
<b>Promedio Total</b>	<b>11,903</b>

Para una mejor visualización de los datos se realiza un grafico de barras el cual representa el consumo generado en cada prueba con diésel el cual se muestra a continuación la figura 3.11.



*Figura 3.11* Gráfica del Consumo de diésel en las Pruebas

La figura 3.11, muestra el consumo generado en las cinco pruebas al momento que el vehículo trabaja con diésel, permitiendo evidenciar que las pruebas 3 y 5 presentan un gasto mayor de combustible mientras que las pruebas 1, 2 y 4 presentan un gasto menor que las pruebas anteriores; al final se muestra un promedio total el cual utilizaremos para el desarrollo de comparación.

### **3.4.2. Consumo con biodiésel**

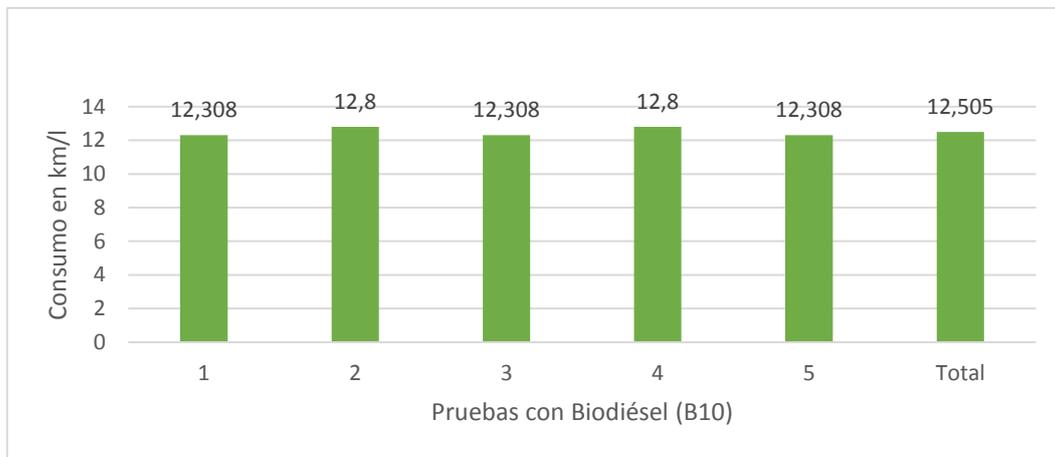
Culminadas las pruebas con el diésel se procede a realizarlo con el biodiésel (B10), siguiendo los mismos parámetros con las que se efectuaron las pruebas anteriores. Finalizado las pruebas de consumo con el biocombustible, se hace un promedio entre los resultados de las cinco pruebas para tener un índice de tolerancia.

La tabla 3.6, muestra el consumo que se obtiene durante cada una de las pruebas realizadas con el biodiésel (B10) en el cual se evidencia que hay una variación fluctuante de un 4% del resultado menor hasta el resultado más alto que es el de la prueba 2 y 4.

**Tabla 3.6** Consumo de combustible con mezcla B10

Pruebas	CONSUMO en km/l
1	12,308
2	12,800
3	12,308
4	12,800
5	12,308
<b>Promedio Total</b>	<b>12,505</b>

Para una mejor visualización de los datos se realiza un gráfico de barras el cual representa el consumo obtenido en cada prueba con biodiésel el cual se muestra a continuación la figura 3.12.



*Figura 3.12 Gráfica del Consumo de Biodiésel (B10) en las Pruebas*

La figura 3.12, muestra el consumo generado durante cada una de las pruebas al momento que el vehículo trabaja con biodiésel, permitiendo evidenciar que las pruebas 2 y 4 presentan un gasto mayor de combustible mientras que las pruebas 1, 3 y 5 presentan un gasto menor que las pruebas anteriores; al final se muestra el promedio total con el que trabajaremos.

### **3.5. Pruebas de Torque y Potencia**

La potencia y el torque se los realiza con la norma SAE J1349, esta norma pretende proporcionar un método para obtener mediciones repetibles que reflejen con exactitud el rendimiento verdadero del motor durante cada prueba. Siempre que haya una oportunidad para la interpretación de los datos obtenidos, se hará una tabla para comparar los resultados de las pruebas realizadas para obtener el rendimiento típico del motor.

La norma SAE J1349 define el procedimiento real de la prueba del dinamómetro utilizado para obtener el esfuerzo de torsión. El ensayo consistirá en una marcha a plena aceleración

para los motores encendidos por chispa y en un combustible fijo a plena carga de la bomba de inyección para motores de CI (SAE, 2004, pág. 22).

Las mediciones se tomarán en incrementos de no más de 500 rpm en secuencia desde el más bajo hasta la máxima velocidad recomendada por el fabricante. Las velocidades de funcionamiento incluirán la potencia de pico y par máximo. Los datos incrementan de 100 rpm alrededor del par máximo y de la potencia de pico son recomendados para distinguir con precisión sus respectivas velocidades nominales. La velocidad de ajuste nominal es más de  $\pm 1\%$  o 5 rpm, lo que sea mayor (SAE, 2004, pág. 25).

### 3.5.1. Procedimiento

Para iniciar las pruebas de obtención de los datos de potencia y torque, se empieza subiendo al vehículo al dinamómetro, a continuación siguiendo los parámetros de seguridad establecidas por el laboratorio, se ancla al automóvil correctamente; el banco dinamométrico esta calibrado con la norma SAE J1349. Las pruebas se realizan con cada uno de los combustibles, al igual se aplican cinco pruebas de las cuales se adquieren diferentes datos para la posterior tabulación y el desarrollo de las gráficas de potencia y torque. Todos estos procedimientos se los realizó con la utilización de un depósito de combustible externo al del vehículo de prueba.

Durante el desarrollo de las pruebas de torque y potencia influyen diferentes parámetros como la temperatura del aire aspirado, la humedad relativa del aire, la temperatura del combustible, la temperatura del aceite del motor entre, otros; estos factores harán variar los resultados finales de cada una de las pruebas. Para evitar esta variación excesiva se realizan diferentes pruebas con cada combustible para disminuir el margen de error. La figura 3.13, muestra una de las pruebas de potencia obtenidas con el dinamómetro en la cual se muestra los parámetros que se toman durante el desarrollo de las mismas.

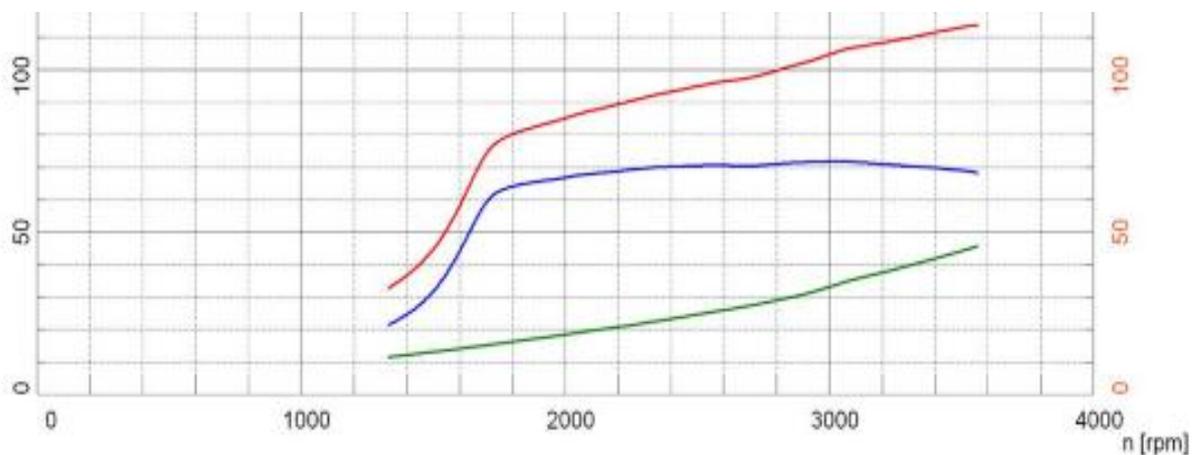


Figura 3.13 Resultados de producción de Potencia

### 3.5.2. Resultados con diésel

Finalizadas las pruebas en el vehículo con diésel como combustible, se procede a la tabulación de los datos emitidos por el dinamómetro, para la realización de las curvas características de la potencia motor y del torque, la cual se rige a los diferentes regímenes del motor; posteriormente los resultados obtenidos se comparan con los datos generados con el biocombustible, y así poder evidenciar si existe una variación de la misma.

La tabla 3.7, muestra la potencia y el torque motor, a diferentes rpm empezando desde las 1400 y llegando al máximo en las 3500; en la misma se puede evidenciar el valor más alto de la potencia que es de 114,1 hp se genera a las 3500 rpm; y el valor más alto del torque que es 243,81 lb-ft el cual se genera a las 1700 rpm; mediante esta tabla se desarrollan de las curvas del motor cuando este trabaja con diésel como combustible.

**Tabla 3.7** Datos de Potencia y Torque con diésel

<b>RPM</b>	<b>Potencia (Hp)</b>	<b>Torque (Lb-ft)</b>
1400	41,94	157,335
1500	54,14	189,562
1600	67,45	221,405
1700	78,92	243,816
1800	82,7	241,300
1900	85,2	235,511
2000	87,46	229,670
2100	89,74	224,435
2200	91,92	219,438
2300	94,04	214,738
2400	96,02	210,124
2500	97,78	205,416
2600	99,36	200,707
2700	100,6	195,686
2800	102,06	191,435
2900	104,2	188,710
3000	106,26	186,026
3100	108	182,973
3200	109,44	179,618
3300	110,68	176,149
3400	112,3	173,470
<b>3500</b>	<b>114,1</b>	<b>171,215</b>

De acuerdo con la figura 3.14, se observa que el torque máximo llega a su punto más elevado a las 1700 rpm con una fuerza de 243,81 lb-ft, el pico máximo del torque se produce debido a que el motor está transmitiendo una fuerza hacia el tren alternativo para

que este mantenga un movimiento constante; desde las 1700 a las 3500 rpm donde culmina la prueba el torque disminuye paulatinamente y logra una fuerza final de 171,215 lb-ft; debido a que todos los elementos han absorbió toda la energía producida por el combustible. La potencia parte de las 1400 rpm y llega al máximo a las 3500 rpm dando una potencia inicial de 36,5 Hp y una potencia final de 114,1 Hp, el fin de la potencia se da cuando se produce el corte de combustible en el vehículo.

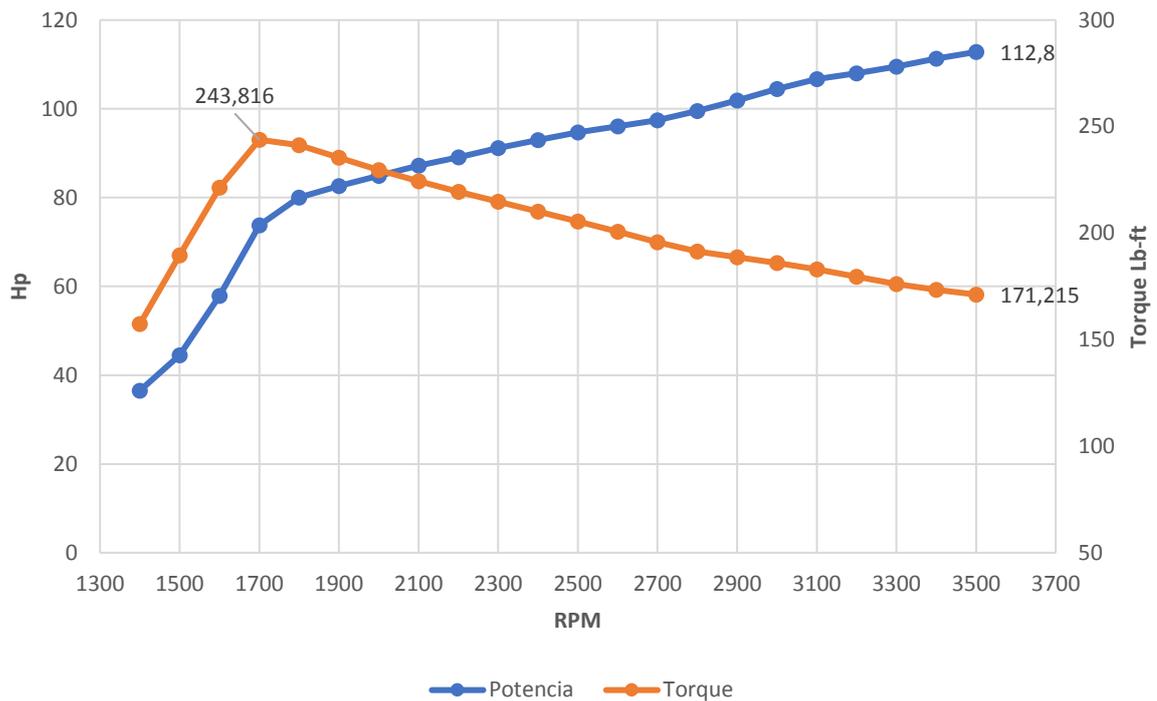


Figura 3.14 Curvas de Potencia y Torque con diésel

### 3.5.3. Resultados con biodiésel

Una vez terminadas las pruebas con el diésel se procede a realizar cinco pruebas con el biodiésel (B10), finalizadas las pruebas se obtiene los datos con los cuales se procede a la tabulación, se realiza un promedio entre las cinco pruebas para obtener un valor aproximado, con estos datos obtenidos del promedio se realizan las curvas características de la potencia y del torque las que posteriormente se compararán con los datos obtenidos con el diésel.

A continuación, se presenta la tabla 3.8, que muestra la potencia y el torque motor con la utilización del biodiésel, a diferentes rpm empezando desde las 1400 con una potencia de 42,58Hp y un torque de 159,75 lb-ft y llegando al máximo en las 3500 rpm produciendo una potencia máxima de 112,72 hp y un torque total de 169,14lb-ft; mediante

los datos de esta tabla se elaboran de las curvas del motor cuando este trabaja con biodiésel. En la misma se puede apreciar el valor más alto del torque que se da a las 1800 rpm con una fuerza de 247,49 lb-ft y la potencia máxima se da a las 3500 rpm con un resultado de 112,72 Hp.

*Tabla 3.8 Datos de Potencia y Torque con biodiésel*

<b>RPM</b>	<b>Potencia (Hp)</b>	<b>Torque (Lb-ft)</b>
1400	42,58	159,74
1500	54,64	191,31
1600	68,14	223,67
1700	78,42	242,27
1800	84,82	247,49
1900	87,46	241,76
2000	89,70	235,55
2100	92,22	230,64
2200	94,60	225,84
2300	96,70	220,81
2400	98,62	215,81
2500	101,36	212,94
2600	101,84	205,72
2700	103,00	200,35
2800	104,42	195,86
2900	106,14	192,22
3000	107,68	188,51
3100	108,46	183,75
3200	109,28	179,36
3300	110,26	175,48
3400	111,30	171,93
<b>3500</b>	<b>112,72</b>	<b>169,14</b>

De acuerdo con la figura 3.15, se aprecia que el torque máximo se alcanza a las 1800 rpm con una fuerza máxima producida de 247,49 lb-ft, en la que se produce el pico máximo del torque debido a que el combustible libera toda su energía en el tren alternativo hasta lograr un movimiento constante; desde las 1700 a las 3500 rpm el torque disminuye paulatinamente llegando a tener una fuerza de 169,14 lb-ft; debido a que el tren alternativo ya absorbió toda la fuerza necesaria producida por el combustible y se mantiene en un movimiento continuo que paulatinamente va a disminuir por la

fuerza de rozamiento si se deja de acelerar. La potencia parte de las 1400 rpm y llega al máximo a las 3500 rpm dando una potencia inicial de 42,58 hp y una potencia final de 169,14 hp.

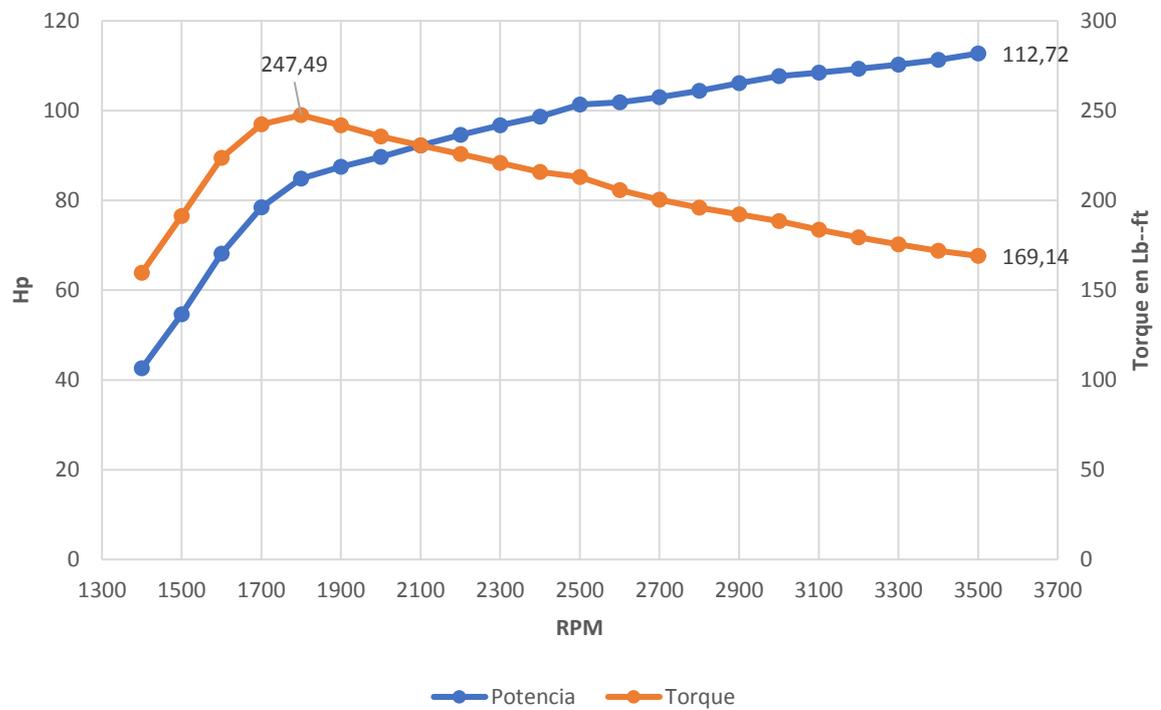


Figura 3.15 Curvas de Potencia y Torque con biodiésel

## CAPITULO IV

### 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Comparación de Factores de emisión

Los factores de emisión son los gases emanados después de la combustión ya sea de los motores a gasolina o diésel, para la obtención de estos factores se debe realizar mediante los ciclos establecidos por normas internacionales a las que nos regimos; para la obtención de estos factores de emisión se realiza mediante el ciclo IM240 que es la simulación de un circuito urbano.

Una vez obtenido los factores de emisión con cada uno de los combustibles a prueba, se realiza una tabla de resultados que permite elaborar una comparación entre las normas nacionales e internacionales; y poder identificar mediante el uso de un combustible alternativo existe una reducción en los gases contaminantes que se producen después de la combustión. A continuación, se presenta la tabla 4.1 con los resultados totales de diésel y biodiésel.

**Tabla 4.1** Comparación de factores de Emisión

PRUEBAS	FCO[g/Km]	FHC[g/Km]	FNOx[g/Km]
<b>Diésel</b>	<b>1,528</b>	<b>0,089</b>	<b>0,392</b>
<b>Biodiésel (B10)</b>	<b>0,008</b>	<b>0,012</b>	<b>0,208</b>

En la tabla 4.1 se observa las emisiones producidas con los combustibles de prueba, en la cual se evidencia una reducción del 99,41% en las emisiones de monóxido de carbono; en los hidrocarburos presenta una reducción del 86,51% y los monóxidos de nitrógeno presentan una reducción de 43,94%.

Realizando una comparación entre la producción total de los factores de emisión obtenido con diésel ante el factor de emisión obtenido con biodiésel, se nota claramente que con el uso de un biocombustible se reduce se la producción de estos. Con los datos que nos da la norma INEN 2 207:2008 y la normas EURO, se realiza la comparación de resultados entre la norma y la cantidad de gases contaminantes que producen los motores diésel. A continuación, presentaremos la tabla 4.2, con los resultados obtenidos en la maquina analizadora y la norma nacional e internacional.

**Tabla 4.2** Resultados, Normas nacionales e Internacionales

Partículas en g/km	Norma 2 207:2008	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6	Resultados Diésel	Resultados Biodiésel
FCO (MONÓXIDOS DE CARBONO)	0,64	0,64	0,5	0,5	0,5	1,528	0,008
FHC + FNO <sub>x</sub> (HIDROCARBUROS + MONÓXIDOS DE NITRÓGENO)	0,56	0,56	0,3	0,23	0,17	0,481	0,22

La reforma vigente realizada a la norma INEN 2 207:2002 con la RTN INEN 017:2008; establece que todos los vehículos que sean importados o ensamblados deben cumplir la normativa EURO 3, esta norma establece los límites aceptables de emisiones gases contaminantes al medioambiente provenientes de las fuentes móviles (automóviles, camiones, autobuses, entre otros). (Delgado, 2012, pág. 13)

Comparando con los datos obtenidos en las pruebas ante las norma nacional e internacional, se demuestra que la cantidad de gases contaminantes producidos en las pruebas con la utilización de una mezcla de combustible fósil y biodiésel reduce las emisiones de gases contaminantes. Al realizar la comparación entre las emisiones que establece la norma nacional y las normas internacionales; se comprueba que con el uso de un biocombustible se puede cumplir hasta la norma Euro 5 con normas internacionales vigentes, no se alcanza la norma EURO 6 debido a que hay una producción mayor de los hidrocarburos más los monóxidos de nitrógeno .

A continuación, se realiza comparaciones gráficas de los resultados obtenidos ante la norma nacional e internacional, estas indican los límites máximos de gases de escape que puede emanar un vehículo; permitiendo comprar cada uno de los gases cuando se trabaja con diésel o biodiésel (B10), además se observa observar en que porcentaje varió ante cada una de las normas.

Realizando una comparación gráfica ente los resultados del biocombustible utilizado en las pruebas, ante la norma INEN 2 207:2008 que establece los siguientes límites; para el factor de monóxido de carbono es de 0,64 g/km y para los hidrocarburos más el monóxido de nitrógeno es de 0,56 g/km; se demuestran los siguientes resultados.

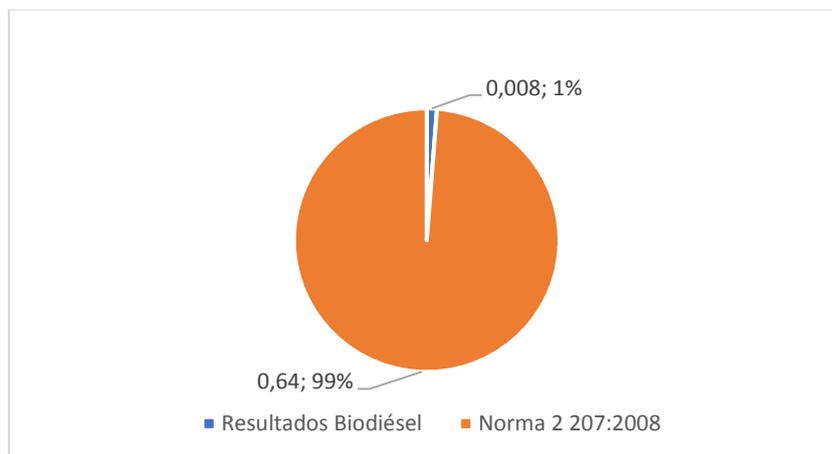


Figura 4.1 Comparación de Biodiésel vs Norma INEN 2 207 y EURO 3

La figura 4.1, se muestra la comparación de la producción de monóxido de carbono ante la norma INEN 2 207:2008 y la norma EURO 3, en la cual se observa que la producción de este gas es de 0,008 g/km que equivale a un 1%, mientras que la norma acepta el 0,64 g/km que equivale a un 99%

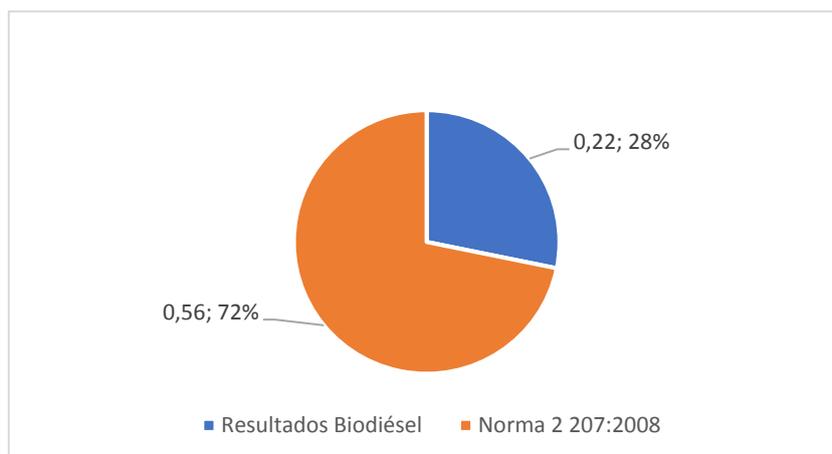


Figura 4.2 Comparación de Biodiésel vs Norma INEN 2 207 y EURO 3

En la figura 4.2, se muestra la comparación de la producción de hidrocarburos mas los monóxidos de nitrógeno obtenidos después de las pruebas, ante la norma INEN 2 207:2008 y la norma EURO 3, el cual presenta un 0,22 g/km que equivale al 28%, mientras que la norma INEN y EURO 3 aceptan un 0,56 g/km que equivale al 72%.

Realizando una comparación gráfica ente los resultados del biocombustible utilizado en las pruebas, ante la norma EURO 4 la cual establece los siguientes límites; para el factor de monóxido de carbono es de 0,5 g/km y para los hidrocarburos más el monóxido de nitrógeno es de 0,3 g/km; se demuestran los siguientes resultados en la figura 4.3.

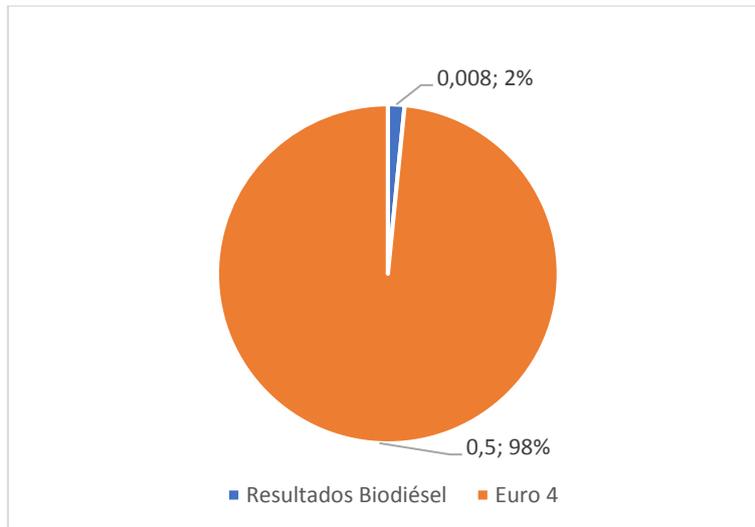


Figura 4.3 Comparación de Biodiésel vs Norma EURO4

La figura 4.3, presenta una comparación entre los resultados de las pruebas con el biodiésel B10 ante la norma EURO 4 la cual permite una producción de monóxido de carbono de 0,5 g/km que equivale al 98% a comparación de los datos obtenidos con el bio combustible el cual presenta un 0,008 g/km que equivale al 2%

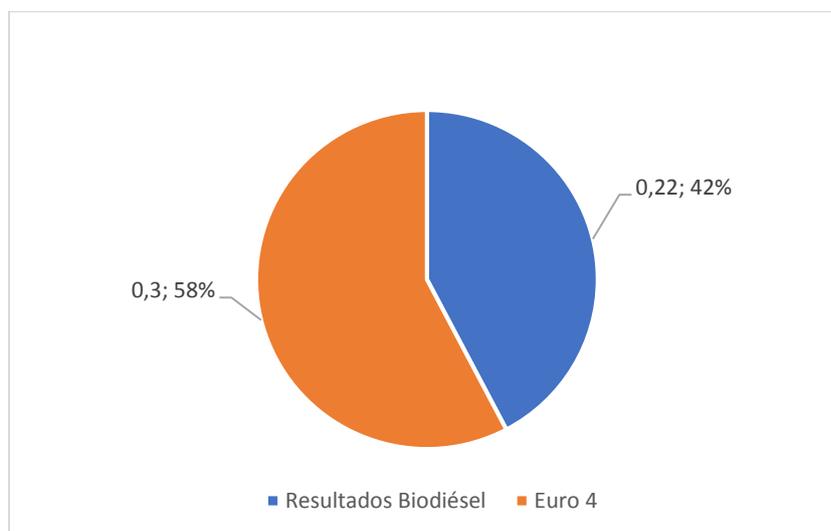


Figura 4.4 Comparación de Biodiésel vs Norma EURO4

En la figura 4.4, se demuestra que con la utilización de una mezcla B10, presenta una reducción de gases contaminantes ante la norma EURO 4, la cual establece una producción de 0,3 g/km en hidrocarburos más monóxidos de nitrógeno, la cual equivale al 58%; mientras que con la mezcla B10 estos gases presentan un 0,22 g/km que equivale al 42%.

Realizando una comparación gráfica ente los resultados del biocombustible utilizado en las pruebas, ante la norma EURO 5 la cual establece los siguientes límites; para el factor de monóxido de carbono es de 0,5 g/km y para los hidrocarburos más el monóxido de nitrógeno es de 0,23 g/km.

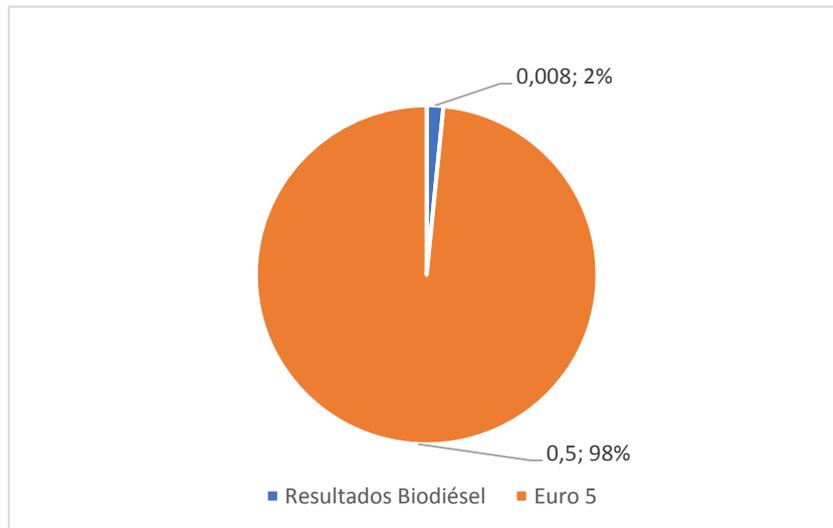


Figura 4.5 Comparación de Biodiésel vs Norma EURO5

La figura 4.5, muestra la comparación de la producción de monóxido de carbono entre la norma EURO 5 y los resultados obtenidos, la norma establece una aceptación de 0,5 g/km que equivale al 98%, mientras que la producción de este gas con la utilización de biodiésel es de 0,008 g/km que equivale al 2%

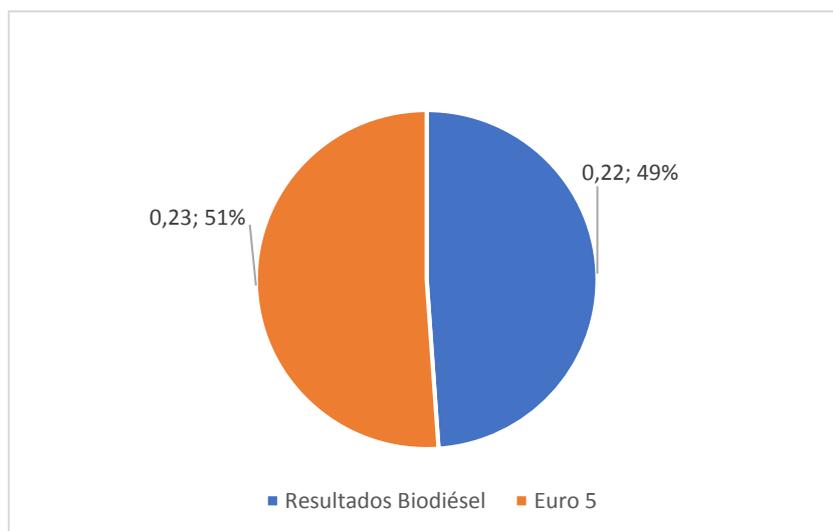


Figura 4.6 Comparación de Biodiésel vs Norma EURO 5

En la figura 4.6, se hace una comparación de los hidrocarburos más los monóxidos de nitrógeno entre la norma EURO 5 que establece una producción de 0,23 g/km que equivale al 51% y los resultados obtenidos de estos gases son de 0,22% que equivale al 49% demostrando que logra cumplir esta norma.

Realizando una comparación gráfica ente los resultados del biocombustible utilizado en las pruebas, ante la norma EURO 6 la cual establece los siguientes límites; para el factor de monóxido de carbono es de 0,5 g/km y para los hidrocarburos más el monóxido de nitrógeno es de 0,17 g/km.

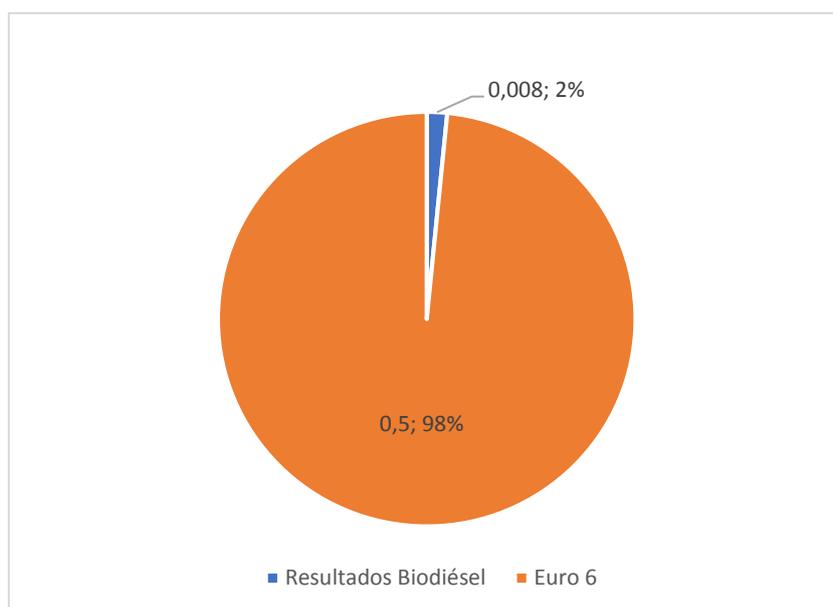


Figura 4.7 Comparación de Biodiésel vs Norma EURO 6

En la figura 4.7, se observa la producción de monóxido de carbono y se compara ante la norma EURO 6, esta establece una producción de 0,5 g/km que equivale al 98%, mientras que con el biocombustible se produce un 0,008 g/km que equivale al 2% cumpliendo la normativa establecida para este gas.

En la figura 4.8, se efectúa una comparación entre los hidrocarburos más los monóxidos de nitrógeno en la que observa que la producción de este gas; la norma EURO 6 permite una producción de 0,17 g/km dando un porcentaje 44% mientras que con el biocombustible se obtiene 0,22 g/km y ocupa un 56%; observando estos datos con el biodiésel no alcanzamos los valores establecidos por la norma ante estos gases, pero con el monóxido de carbono que se genera se logra cumplir la norma.

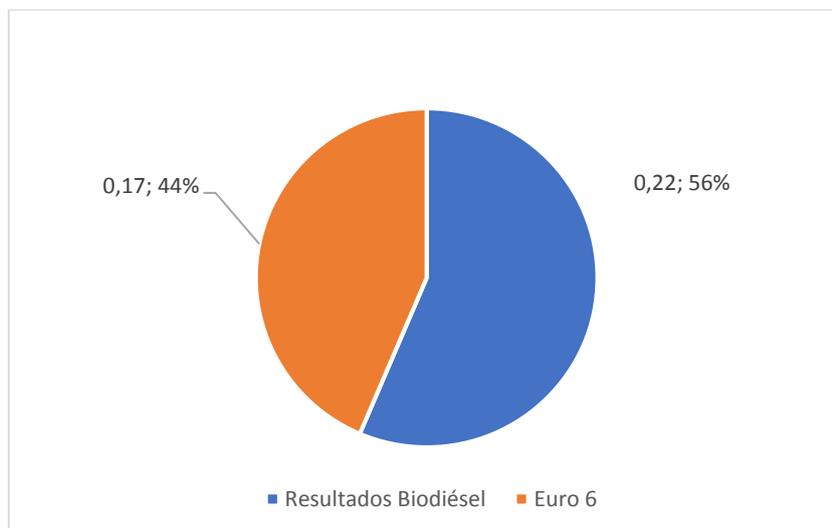


Figura 4.8 Comparación de Biodiésel vs Norma EURO 6

Después del análisis correspondiente entre los resultados obtenidos, se comprueba que con el uso de una mezcla de biodiésel (B10) se puede cumplir los parámetros que exige la norma EURO 3, EURO 4 y EURO 5; y a su vez la norma nacional.

## 4.2. Consumo de combustible

Durante las pruebas de emisiones; también se desarrolló las pruebas del consumo de combustible, de las cinco las pruebas realizadas con cada uno de los combustibles se obtiene los datos del consumo en (km/lit), los cuales permiten evidenciar el gasto que se ha generado durante el transcurso de las pruebas dentro del motor diésel, al final de la prueba se realiza un promedio general el cual nos permitirá elaborar la tablas del consumo con diésel y con biodiésel y una posterior comparación

Cabe recalcar que los datos que se obtiene del consumo es en la distancia que establecida por el ciclo de conducción IM240 que es de 3,1 km; la tabla muestra el consumo que se obtiene durante cada una de las pruebas realizadas con el combustible diésel.

### 4.2.1. Comparación de resultados del consumo

Para elaborar la comparación del consumo de combustible se recoge los datos totales de cada una de las pruebas realizadas, para poder evidenciar si se ha generado un incremento o disminución. A continuación, se muestra la tabla 4.3 con los datos del consumo del diésel y de la mezcla B10

**Tabla 4.3** Consumo de Combustible en Km/l

Columna1	CONSUMO en km/l
<b>Diésel</b>	<b>11,903</b>
<b>Biodiésel (B10)</b>	<b>12,505</b>

Se puede evidenciar que el consumo aumenta moderadamente un 5% con el uso de biodiésel, este consumo se puede decir que es el consumo que se genera dentro de la ciudad, ya que el ciclo de prueba es el IM240, es la simulación de un ciclo de conducción urbano.

Mediante la figura 4.9, que se presenta a continuación, se demuestra el incremento en el consumo de combustible; entre el Diésel y el Biodiésel (B10), después de haber desarrollado las pruebas de emisiones. El cual presenta un incremento porcentual de 5% adicional al consumo urbano que se presenta con la utilización del diésel.

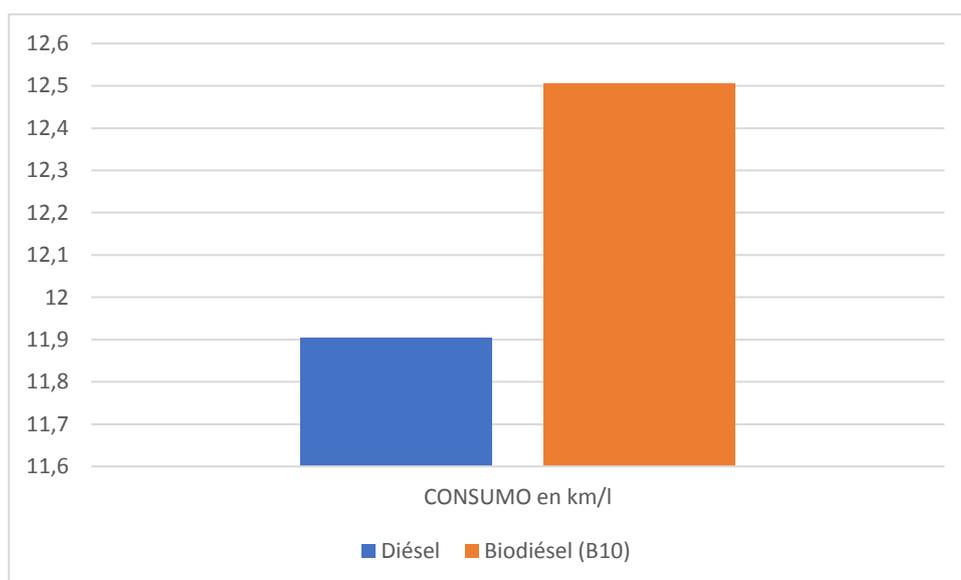


Figura 4.9 Comparación del consumo entre Diésel y Biodiésel (B10)

El consumo de combustible aumenta debido a que el motor presenta una pérdida de potencia, rápidamente la ECU recibe las señales de los sensores y actuadores y emite una señal en la cual activa una mayor apertura del inyector; permitiendo ingresar una mayor cantidad de combustible dentro de la cámara de combustión, y mantener al motor estable sin que presente ningún tipo de fallas. Cabe recalcar que el consumo es diferente dentro de la ciudad a comparación del consumo en carretera.

De acuerdo con las especificaciones técnicas que se presentan en la tabla 8, la cual muestra que el consumo urbano y el consumo en carretera; se observa una variación entre estos dos consumos siendo el de carretera mucho menor; el consumo de combustible que se da en carretera es menor al consumo que se presenta en la ciudad, debido a que en carretera, el modo de conducción es muy diferente al de la ciudad; la diferencia se presenta que dentro de la ciudad se hace muchas paradas cortas, en la cual se aplica marchas más fuertes con lo cual se necesita un mayor uso de combustible para poder mover al vehículo después estar en reposo; lo que no pasa en carretera ya que allí no se realizan paradas momentáneas.

### 4.3. Potencia y Torque

Las pruebas que se realizaron de torque y potencia, se las desarrolló cinco veces con cada combustible, para poder determinar si existe una variación más notoria entre los resultados. A continuación se presenta la tabla 4.4, que muestra los valores de potencia y torque promediados de los resultados obtenidos.

**Tabla 4.4** Resultados Torque y Potencia

Combustible	RPM	Potencia (Hp)	Torque (Lb-Ft)
<b>Diésel</b>	3500	114,1	171,215
<b>Biodiésel (B10)</b>	3500	112,72	169,14

Analizando la tabla anterior se puede apreciar que a las 3500 rpm el vehículo da el máximo de potencia y torque; además se observa una diferencia mínima en la producción potencia y torque, cuando el vehículo trabaja con diésel y cuando trabaja con biodiésel (B10). Esta pérdida mínima de potencia no es evidente al momento de que el vehículo esté sometido a cargas. Permitiendo realizar correctamente las funciones que requiera el conductor al momento de acelerar el vehículo.

#### 4.3.1. Comparación de resultados de la potencia.

Para realizar una correcta comparación entre la potencia que se obtiene en el motor cuando trabaja con diésel o con el biodiésel (B10), se crea una tabla la cual permite comparar la potencia de acuerdo con las rpm a las que se encuentra el motor al momento de trabajar con cada combustible de prueba. A continuación, se presenta la tabla 4.5 que

muestra cual es la potencia que se obtiene durante todo el ciclo de prueba con cada uno de los combustibles.

**Tabla 4.5** Potencia con Diésel y Biodiésel

<b>RPM</b>	<b>Potencia Diésel (Hp)</b>	<b>Potencia Biodiésel (B10) (Hp)</b>
1400	41,94	42,58
1500	54,14	54,64
1600	67,45	68,14
1700	78,92	78,42
1800	82,7	84,82
1900	85,2	87,46
2000	87,46	89,7
2100	89,74	92,22
2200	91,92	94,6
2300	94,04	96,7
2400	96,02	98,62
2500	97,78	101,36
2600	99,36	101,84
2700	100,6	103
2800	102,06	104,42
2900	104,2	106,14
3000	106,26	107,68
3100	108	108,46
3200	109,44	109,28
3300	110,68	110,26
3400	112,3	111,3
<b>3500</b>	<b>114,1</b>	<b>112,72</b>

La potencia total se obtiene a las 3500 rpm ya sea con el uso de diésel o biodiésel (B10), la variación de la potencia es mínima a simple vista, y en ciertas partes el biodiésel trabaja

de mejor forma que el diésel a ciertos regímenes del motor. Realizando una gráfica para apreciar de mejor manera los resultados, se presenta la figura 37.

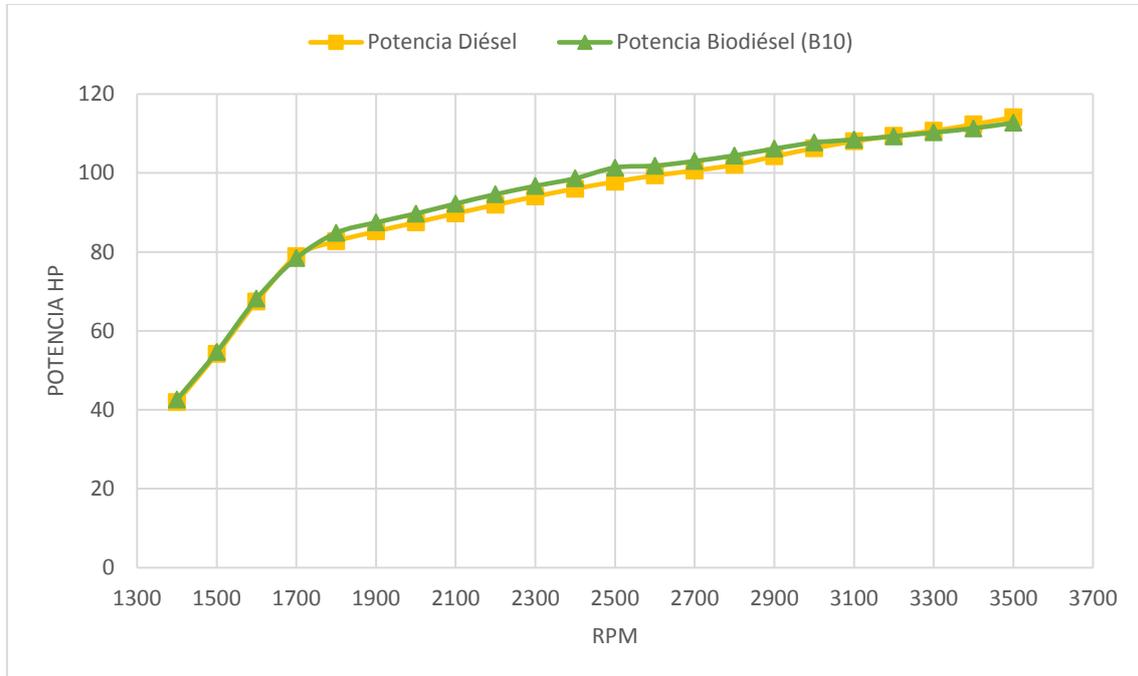


Figura 4.10 Potencia con el uso de Diésel y Biodiésel (B10)

Se observa en la figura 4.10, dos líneas que presentan la potencia generada por el diésel y la potencia generada por el biodiésel (B10); permitiendo observar cual es la variación potencia a cada régimen de motor. Como muestra la figura no presenta variación notoria desde las 1400 rpm hasta las 1700 rpm, pero a partir de las 1700 rpm el biodiésel (B10) presenta un incremento del 2% en la potencia generada, hasta que se llega a equipararse con el diésel a las 3200 rpm. A partir de las 3200 rpm el diésel presenta un incremento de un 1% a comparación del biocombustible hasta llegar al pico máximo que son las 3500rpm presentando una variación porcentual de 1,21% ante el biodiésel.

#### 4.3.2. Comparación de resultados del Torque.

Realizando una comparación entre el torque que genera el motor cuando trabaja con diésel o con el biodiésel (B10), se realiza una tabla la cual permite comparar el torque de acuerdo con las rpm que tiene el motor al momento que trabaja con cada combustible de prueba. A continuación, se presenta la tabla 4.6 que muestra cual es el torque que se obtiene durante todo el ciclo de prueba con cada uno de los combustibles.

**Tabla 4.6** Torque con Diésel y Biodiésel (B10)

<b>RPM</b>	<b>Torque Diésel (Lb-Ft)</b>	<b>Torque Biodiésel (B10) (Lb-Ft)</b>
1400	157,33	159,74
1500	189,56	191,31
1600	221,40	223,67
1700	243,82	242,27
1800	241,30	247,49
1900	235,51	241,76
2000	229,67	235,55
2100	224,44	230,64
2200	219,44	225,84
2300	214,74	220,81
2400	210,12	215,81
2500	205,42	212,94
2600	200,71	205,72
2700	195,69	200,35
2800	191,44	195,86
2900	188,71	192,22
3000	186,03	188,51
3100	182,97	183,75
3200	179,62	179,36
3300	176,15	175,48
3400	173,47	171,93
<b>3500</b>	<b>171,22</b>	<b>169,14</b>

El torque máximo se obtiene a las 3500 rpm ya sea con el uso de diésel o biodiésel (B10), la variación del torque es mínima a simple vista y en ciertas partes el biodiésel trabaja de mejor forma que el diésel, en ciertos regímenes del motor. Realizando una gráfica con los resultados presentados se obtiene las siguientes curvas del torque y se puede apreciar de mejor manera los valores obtenidos.

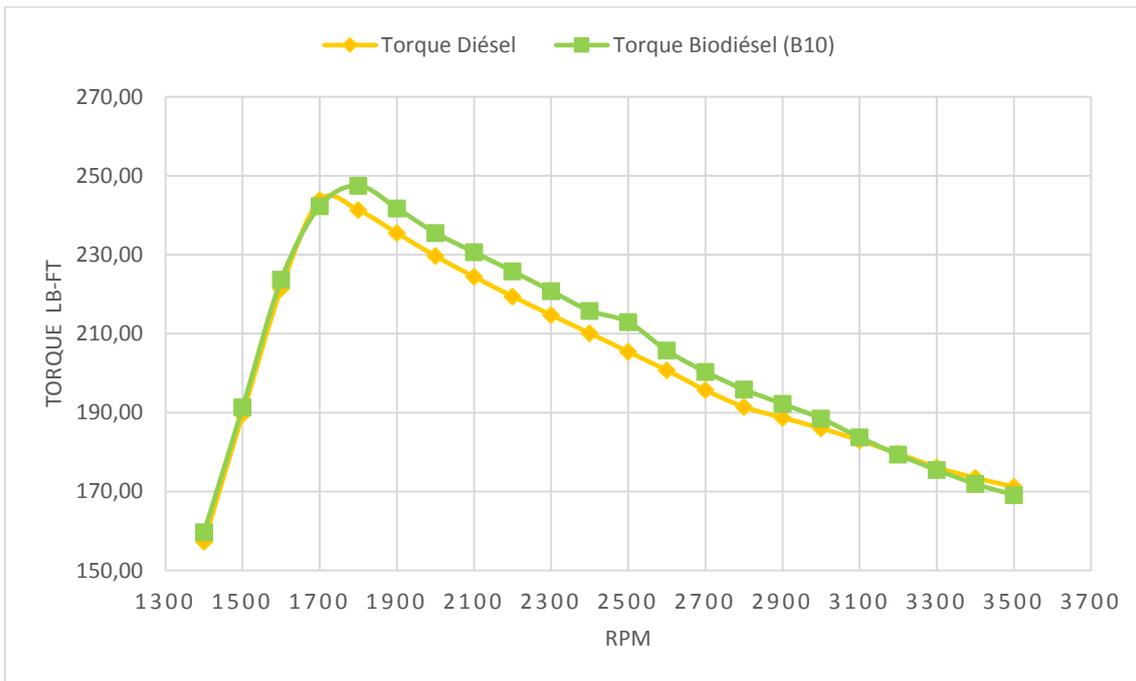


Figura 4.11 Torque con el uso de Diésel y Biodiésel (B10)

La figura 4.11, muestra dos líneas que representan el torque generado por el diésel y el torque generado por el biodiésel (B10); permitiendo analizar cual es la variación del torque a cada régimen del motor. Como muestra la figura no presentan variación notoria desde las 1400 rpm hasta las 1700 rpm, pero a partir de las 1700 rpm el biodiésel (B10) presenta un incremento porcentual del 2.5% ante el comportamiento del diésel. A las 3200 rpm el torque que produce cada unos de los combustibles son similares, desde este régimen el diésel presenta una mejor respuesta ante el biocombustible hasta llegar al pico máximo que son las 3500 rpm presentando una variación porcentual de 1,21% ante el biodiésel.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- El consumo de combustible que se genera dentro del motor al usar el biodiésel presenta un incremento de 5,05% que equivale a 12,505 km/l, mientras el consumo con el diésel es de 11,903 km/l, generando un gasto mayor el biocombustible en el motor.
- La pérdida que se produce en el torque y la potencia con el biodiésel, al llegar a las 3500 rpm es de 1,21%, pero el biocombustible tiene un mejor rendimiento desde las 1700 rpm hasta las 3200 rpm en la cual sobrepasa los datos del diésel en un 2%.
- Mediante el análisis de gases realizado durante las pruebas, se demuestra que con el uso de biodiésel a base de aceite de higuera, se reducen los gases contaminantes, además permite alcanzar la norma EURO 5 a nivel internacional en la cual los límites máximos en la producción de CO son de 0,5 g/km y de HC+NO<sub>x</sub> son 0,23 g/km.
- Se comprueba que el biodiésel tiene un punto de inflamación de 72° C que es mucho más elevado que el del diésel el cual es de 51° C, con lo que produce retrasos al encendido y algunos problemas en el motor.

## 5.2. Recomendaciones

- Se debe utilizar diferentes biocombustibles con otras mezclas de diésel-biodiésel (Bx), para la realización de este tipo de pruebas y permitan comprobar cual es la variación de potencia, torque y consumo de combustible dentro del motor y determinar cual es el biocombustible más eficiente.
- Para tener una mejor comprobación de la potencia, torque y consumo se debe realizar todas las pruebas con diferentes ciclos como SC03 y US06 para comprobar su consumo y los gases producidos por el motor con cada ciclo.
- Durante el desarrollo de las pruebas se debe realizar un test de conducción con scanner para comparar la gestión electrónica de los sensores y actuadores del motor diésel electrónico cuando trabaja con diésel y biodiésel Bx
- Mediante la utilización de los biocombustibles se obtiene una mejor calidad de aire en las ciudades ya que disminuyen la producción de gases contaminantes que causan el calentamiento global.
- Comprobar la señal del sensor del riel FRP o ICP para determinar si existe alguna variación en la presión cuando este trabaja con Diésel o con Biodiésel

## 6. Bibliografía

1. Acosta, A. (2012). *Biocombustibles*. ANI - Academia Nacional de Ingeniería.
2. Aficionados a la Mecánica. (2014). *Inyectores sistema common Rail*. Obtenido de [http://www.aficionadosalamecanica.net/common\\_rail5.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/common_rail5.htm)
3. Alejandro, C. d. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2963/1/65T00090.pdf>
4. Almeida, D. (24 de Septiembre de 2015). *tipos de dinamómetros*. Obtenido de <http://documents.mx/documents/tipos-de-dinamometros-automotrices.html>
5. BENAVIDES, A., BENJUMEA, P., & PASHOVA, V. (2007). EL BIODIESEL DE ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO PARA MOTORES DIESEL. *DYNA*.
6. BOSCH. (2010). *Elementos del sistema CRDi*. Obtenido de [http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts\\_and\\_accessories/motor\\_and\\_sysyems/diesel/common\\_rail\\_injection/common\\_rail\\_diesel\\_motorsys\\_parts.html](http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories/motor_and_sysyems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts.html)
7. BOSCH. (2010). *Sistema CRDi*. 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)
8. Daham. (2015). *Ciclos de pruebas*. Obtenido de <http://www.daham.org/basil/leedswww/emissions/drivecycles.htm>
9. Delgado, R. C. (17 de septiembre de 2012). *Decreto presidencial*. Obtenido de [https://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs\\_Ecuador\\_blendingmanadate2012.pdf](https://www.iea.org/media/pams/ecuador/PAMs_Ecuador_blendingmanadate2012.pdf)
10. Delphi. (2011). *Manual de Entrenamiento COMMON RAIL - Delphi*. Chile.
11. DYNOCOM INC. (2014). *Dinamometros de chasis*. Obtenido de <http://www.dynocom.net/catalog/detail.asp?iPro=130>
12. Echeverria, J. C. (2018). *ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DEL BIODIESEL, A BASE DE ACEITE DE HIGUERILA*. Ibarra.
13. eco13. (7 de 11 de 2009). *Plantas para la producción de bio combustible*. Obtenido de <http://eco13.net/2009/11/7-malas-hierbas-para-producir-biocombustibles/>
14. ecoosfera. (06 de 2015). *Países mas contaminados*. Obtenido de <http://ecoosfera.com/2015/06/cuales-paises-son-los-que-emiten-mas-co2-a-la-atmosfera/>

15. Ecuador, R. d. (2013). *Plan Nacional del buen vivir*. Obtenido de <http://www.buenvivir.gob.ec/descarga-objetivo>
16. Gonzáles, R. (21 de 09 de 2012). *Gases contaminantes*. Obtenido de <https://twenergy.com/a/los-gases-contaminantes-648>
17. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2002). *Noma de emisiones de gases*. Obtenido de <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.2207.2002.pdf>
18. Javier. (18 de 02 de 2010). *Laboratorio Automotriz*. Obtenido de <http://laboratorioautomotriz.blogspot.com/2010/02/dinamometro-de-rodillos.html>
19. Jiaqiang E, M. P. (25 de 05 de 2017). *Efecto de diferentes tecnologías en la combustión y las emisiones del motor diesel alimentado con biodiesel: una revisión*. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211730895X>
20. KIA. (2012). *Especificaciones técnicas*. Obtenido de <http://www.coches.net/ficha-tecnica-kia-sorento-2.5-cr-di-exii-170cv-5p-diesel-56546620070301-fft.aspx>
21. Lurizol. (2017). *Normas Euro*. Obtenido de <https://espanol.lubrizol.com/Lubricant-and-Fuel-Additives/Engine-Oil-Additives/ACEA/Reference-Material/Emissions-Standards>
22. Maco. (20 de 08 de 2014). *Mecánica y Gestión Electrónica de Motores Diesel*.
23. Malayalamurthi, M. K. (30 de 05 de 2016). *Galegruop*. Obtenido de [http://go.galegroup.com/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT\\_LIST&searchResultsType=SingleTab&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA466052676&docType=Article&sort=Relevance&contentSegment=&prodId=GPS&contentSet=GALE%7CA4660](http://go.galegroup.com/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT_LIST&searchResultsType=SingleTab&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA466052676&docType=Article&sort=Relevance&contentSegment=&prodId=GPS&contentSet=GALE%7CA4660)
24. MEGANEBOY, D. (2014). *Elsistema common Rail*. Obtenido de [http://www.aficionadosalamecanica.net/common\\_rail.htm](http://www.aficionadosalamecanica.net/common_rail.htm)
25. Miller, J. (26 de febrero de 2016). *Ciclo de conducción IM240*. Obtenido de [http://transportpolicy.net/index.php?title=US:\\_Light-duty:\\_IM240](http://transportpolicy.net/index.php?title=US:_Light-duty:_IM240)
26. OMS. (2013). *Partículas de gase contaminantes permitidos*. Obtenido de [http://www.who.int/ipcs/assessment/public\\_health/air\\_pollution/es/](http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/air_pollution/es/)

27. Palermo, U. d. (2014). *Biocombustibles una fuente alternativa*. Obtenido de [http://www.palermo.edu/economicas/pdf\\_economicas/Presentacion\\_biocom\\_Steinberg.pdf](http://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf)
28. Ramos, P. R. (2016). *Repositorio digital UTN*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/5543/6/04%20MUAT%20016%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
29. Revista Líderes. (2014). *Productores de biodiésel en Ecuador*. Obtenido de <http://www.revistalideres.ec/lideres/fabril-llena-tanques-biodiesel.html>
31. Roboti-k, F. (3 de febrero de 2016). *Importancia de los sensores*. Obtenido de <http://www.formarobotik.com/la-importancia-de-los-sensores-en-la-robotica-educativa/>
32. SAE. (2004). SAE J1349. *SAE Internacional*, 3-15.
33. SAENZ. (2014). *SAENZ*. Obtenido de <http://www.saenzdynos.com.ar/bco-pruebas-motores-dr.php>
34. SÁNCHEZ, M. C. (2011). *características de los biocombustibles*. Obtenido de <http://www.fedebiocombustibles.com/files/Caracteristicas%20del%20Biodi%C3%A9sel%20y%20sus%20mezclas%20V1.pdf>
35. TORRES, R. S. (DICIEMBRE de 2008). *Biocombustibles VS combustibles fósiles*. Obtenido de <http://energiaadebate.com/Articulos/Noviembre2008/SarmientoNov2008.htm>
36. VOLKSWAGEN AG, Wolfsburg. (2014). *sistema de inyección common rail*. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/87480008/351-Sistema-de-inyeccion-Common-rail-motor-3-0-TDI-vw>

## Anexos

### Anexo 1: Proceso de transesterificación



Figura A 1.1 Inicio del proceso de transesterificación



Figura A 1.2 comprobación de temperatura del proceso



Figura A 1.3 Finalización del proceso de transesterificación



Figura A 1.4 Comprobación de pH después de la transesterificación



Figura A 1.5 Proceso de lavado del biodiésel



Figura A 1.6 Proceso de decantación del biodiésel



**INFORME DE RESULTADOS  
 PETRÓLEO**

Informe N° 17-03-02-P-1  
 Fecha 2017-04-04

**Referencia:** OT-17-03-02-P  
**Atención:** Ing. Carlos Maffa  
**Empresa:** UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE  
**Dirección:** Ibarra  
**Tipo de ensayos:** Análisis Físicoquímicos  
**Tipo de muestra:** BIODIESEL  
**Identificación de la muestra:** BIODIESEL A BASE DE ACETTE HIGUERILLA MEZCLA B10  
**Descripción de la Muestra:** Sin descripción específica  
**Fecha de ingreso de la muestra:** 2017-03-08  
**Código de muestra:** OE-17-03-02-P-1  
**Fecha de realización de ensayos:** 2017-03-09 a 2017-03-31

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
DENSIDAD API A 60°F*	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	34,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN*	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D-92 PNE/DPEC/P/ASTM D-93	72,1
SEDIMENTO BÁSICO Y AGUA (%BSW)*	%V	ASTM D-4007	0,05
AGUA POR DESTILACIÓN*	%V	ASTM D-95	0,050
CENIZAS*	%P	ASTM D-482	0,0080
VISCOSIDAD CINEMÁTICA A 40°C*	cSt	PNE/DPEC/P/ASTM D-445	4,21
AZUFRE*	%P	PNE/DPEC/P/MIO4 Ref. ASTM D-4294	0,0148
RESIDUO CARBONOSO SOBRE 10% DE RESIDUO DE DESTILACIÓN ASTM D-86*	%P	ASTM D-189	0,13
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE CU*	Unidad de Corrosión	PNE/DPEC/P/ASTM D-130	1b
ÍNDICE DE CETANO CALCULADO*	-	PNE/DPEC/P/ASTM D-287	51
SODIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5863/ APHA 3111 B	28,418
POTASIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	7,268
CALCIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	4127,586
MAGNESIO*	mg/kg	Método Interno Ref. ASTM D-5056/ APHA 3111 B	10,268
TEMPERATURA DE DESTILACIÓN AL 90 %*	°C	ASTM D-86	350,7

**Nota.-** Los ensayos marcados (\*) no están incluidos en el alcance de acreditación del SAE

**Condiciones Ambientales.-** Presión 542,9 mm Hg; Temperatura: 17,5 °C

Realizado por: VRT

Revisado por:

Ing. Fernanda Toasa L.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por:

Ing. Ghem Carvajal C.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

ADVERTENCIA: EL USUARIO DEBE EXIGIR EL ORIGINAL. EL DPEC NO SE RESPONSABILIZA POR DOCUMENTOS FOTOCOPIADOS.

Dirección: Enrique Ritter s/n y Bolívar

Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26  
 QUITO - ECUADOR

E-mail: [fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec](mailto:fiq.secretaria.dpec@uce.edu.ec)

MC2201-P01-6

Hoja 1 de 1

Figura A 1.7 Certificado de caracterización

## Anexo 2: Desarrollo de pruebas de gases y torque potencia

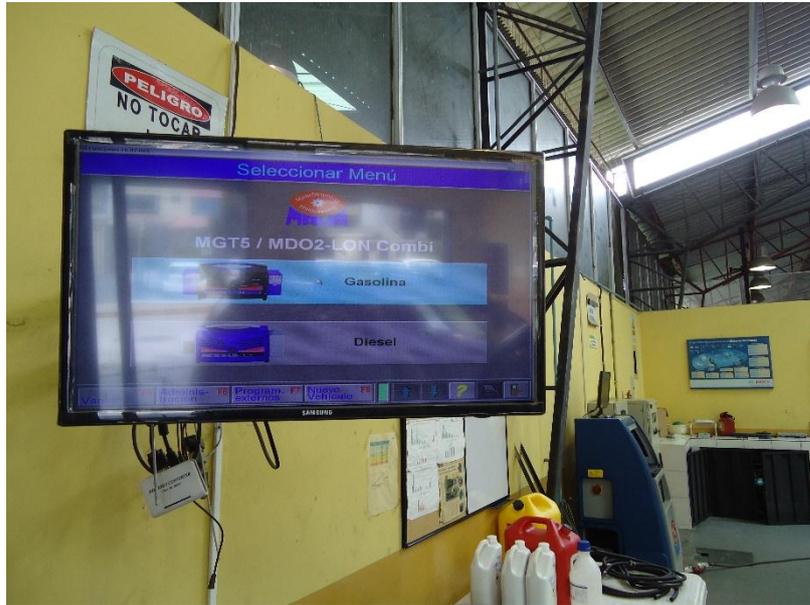


Figura A 2.1 Programa analizador de gases



Figura A 2.2 Medición de los combustibles de prueba



Figura A 2.3 Pruebas de consumo de combustible

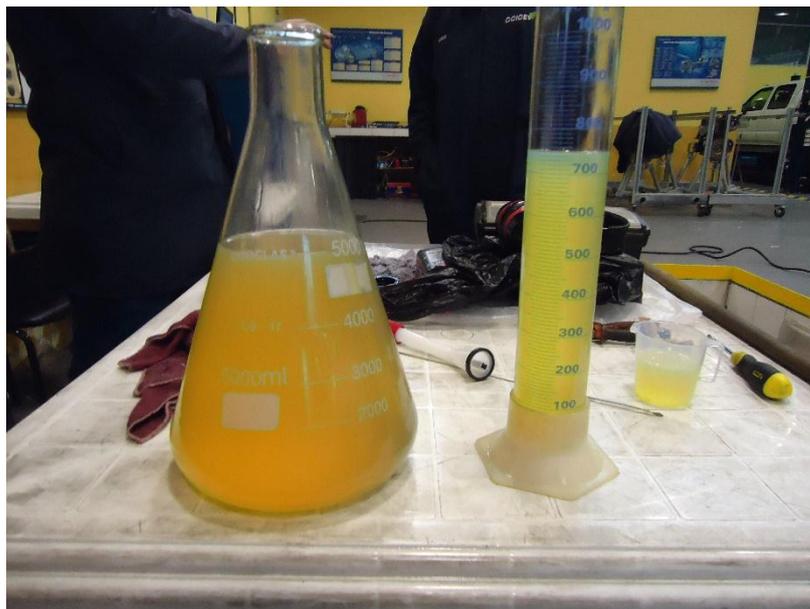


Figura A 2.4 Medición de biocombustible



Figura A 2.5 Pruebas de Potencia y Torque