

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS INYECTORES MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL, CON EL USO DE BIODIÉSEL. CON MEZCLAS B5 Y B10. ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF THE MECHANICAL AND ELECTRONIC INJECTORS OF DIESEL ENGINES, WITH THE USE OF BIODIESEL. WITH MIXES B5 AND B10.

Luis Miguel Guerrero Quintana

*Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, Universidad Técnica del Norte - Ibarra.
lmguerreroq@utn.edu.ec*

Resumen

La presente investigación corresponde al análisis del comportamiento de los inyectores diésel, al usar un combustible ajeno al proveniente de residuos fósiles; para eso se obtuvo un biocombustible a base del aceite de higuera (Ricinus Communis), para realizar ensayos de laboratorio e identificar cual es el comportamiento de los inyectores diésel con el uso del biodiésel.

Dentro de la investigación se realizó el estudio interno de los inyectores mecánicos y electrónicos, identificando los elementos internos de estos; también se analizó como es el recorrido del combustible en el interior de los inyectores, desde la entrada del combustible hasta llegar a los orificios de atomización.

Para realizar las pruebas de laboratorio se usó el biodiésel con mezclas B5 y B10, para poner en funcionamiento a los inyectores diésel, se utilizó el probador de inyectores mecánicos, con la finalidad de verificar si su comportamiento es el mismo o presenta alguna variación al uso del biocombustible obtenido.

En la parte final de las pruebas de laboratorio, se realizó la comparación de las características del proceso de inyección usando diésel común, biodiésel con mezclas B5 y B10; las características que se ha tomado en cuenta son la capacidad de penetración del chorro diésel y su ángulo formado en los orificios de la tobera de inyección, de los inyectores mecánicos y

electrónicos. Además, en los inyectores electrónicos se realizó la prueba de entrega y retorno de combustible, y justificar los resultados obtenidos por otras investigaciones en relación al consumo de combustible usando biodiésel.

Palabras claves: Ricinus Communis, biodiésel, chorro, toberas.

Abstract

The present investigation corresponds to the analysis of the behavior of diesel injectors, when using a fuel other than fossil waste; For this, a biofuel based on castor oil (Ricinus communis) was obtained to carry out laboratory tests and identify the behavior of diesel injectors with the use of biodiesel.

In the investigation, the internal study of the mechanical and electronic injectors was carried out, identifying the internal elements of these; It was also analyzed how it is the fuel path inside the injectors, from the fuel input to the spray orifices.

To carry out the laboratory tests, biodiesel with B5 and B10 mixtures was used to start the diesel injectors, the mechanical injector tester was used, in order to verify if its behavior is the same or if there is any variation to the use of the biofuel obtained.

In the final part of the laboratory tests, the characteristics of the injection process were compared using common diesel, biodiesel with B5

and B10 mixtures; the characteristics that have been taken into account are the penetration capacity of the diesel jet and its angle formed in the orifices of the injection nozzle, of the mechanical and electronic injectors. In addition, in the electronic injectors, the fuel delivery and return test was performed, and the results obtained by other investigations related to fuel consumption using biodiesel were justified.

Keywords: Ricinus Communis, biodiesel, jet, nozzles.

1. Introducción

Durante muchos años, se ha utilizado combustibles fósiles como la energía principal en el funcionamiento de los motores de combustión interna, dentro de ellos tenemos los motores diésel, los cuales, son motores de un buen rendimiento y de un consumo relativamente reducido.

El combustible es un cuerpo o sustancia, que cuando este combustiona puede ser una fuente de calor, así como, una fuente liberadora de energía. Estos combustibles se encuentran en su estado líquido, para el funcionamiento en motores de los vehículos usados en la actualidad, entre los combustibles más usados tenemos: el gasoil, queroseno o la gasolina.

El motor inventado y patentado por Rudolf Diesel en 1892, es un motor térmico de combustión interna, donde su encendido se produce por las elevadas temperaturas que el aire alcanza al ser comprimido en la cámara de combustión (Ivonne & Gonzales, 2015, pág. 2) ^[4].

Para que estos motores tengan una eficiencia en su funcionamiento es necesario utilizar un buen combustible (diésel). Pero el uso de estos combustibles de origen fósiles, genera residuos nocivos para el entorno natural de nuestro planeta; es por esta razón que, se ha buscado combustibles alternativos (biocombustibles), los cuales, están destinados a reducir en lo máximo posible la emanación de este tipo de residuos a nuestro medio ambiente.

Es por eso que, gracias a los nuevos avances tecnológicos con respecto al sistema de alimentación de combustible, el desarrollo de combustibles alternativos; tanto para motores diésel como a gasolina, han implementado nuevos componentes, los cuales, trabajan coordinadamente para gestionar de forma óptima el funcionamiento del motor diésel,

que en este trabajo de investigación será el sistema de alimentación de motores diésel.

2. Biocombustible

El biocombustible es un combustible proveniente de una fuente biológica conocida como biomasa, que no se ha fosilizado al paso del tiempo, a esto se refiere a la materia orgánica de procedencia de los seres vivos, sea estas las plantas, los animales o los desechos metabólicos. Los componentes usados en la actualidad para la producción del biocombustible, se originan del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas.

Los biocombustibles de origen biológico reemplazan parcialmente el consumo de los combustibles fósiles comúnmente usados, como son los derivados del petróleo y también el carbón. Los combustibles más investigados, desarrollados y utilizados son el bioetanol y el biodiésel; entonces, los biocombustibles son una fuente de energía alternativa que se pueden usar en los casos de que los precios de los hidrocarburos dejen de ser subsidiados o eleven su precio ante la tendencia de la escases de estos. También se suma, el aporte en la reducción de gases contaminantes al medio ambiente, que en parte destruyen o alteran su estabilidad (Salinas & Gasca, 2009, pág. 79).

3. Biodiésel de aceite de higuera

La higuera es una planta que se cultiva en ambientes con climas templados, tiene una altura promedio de 8 a 10 metros que, en ambientes con un grado alto de humedad y calor, estos alcanzarían fácilmente varios metros de altura, las semillas de higuera componen de entre 35% a 55%, de los ácidos ricinoleico, isoricinoleico, ricina (altamente venenosa si es administrada vía oral o endovenosa) y ricina.

Su alto contenido del ácido ricinoleico, tiene la capacidad de ser lubricante, presenta una alta resistencia a las elevadas temperaturas, siendo la materia prima más utilizada en la industria oleoquímica, esto permite a las empresas la posibilidad de transformación del aceite en varios productos derivados del petróleo, que en este caso se utilizará para el desarrollo del biodiésel. (Karina, 2012, pág. 4)^[1].

El aceite de higuera es también conocido como el aceite de ricino la cual proviene de la semilla de la

higuerilla. Este aceite es por naturaleza química muy viscoso, miscible al alcohol y de bajo punto de solidificación.

Para la elaboración del aceite; se extrae el aceite de sus semillas mediante un proceso, sea este de prensado mecánico o utilizando ciertos catalizadores para una extracción química. Posteriormente pasa a un proceso denominado como transesterificación, el cual nos permite separar sus componentes y obtener el biodiésel y la glicerina. (Karina, 2012, pág. 24)^[1].

En la Figura 2.1 se observa la estructura de la planta y la semilla de la higuerilla, apreciando su estructura física mostrada en la naturaleza.

El máximo rendimiento del aceite de higuerilla, en el proceso de su extracción se obtiene bajo las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiente.
- Una relación molar metanol/aceite de 9:1.
- Concentración de catalizador de 0.8%.

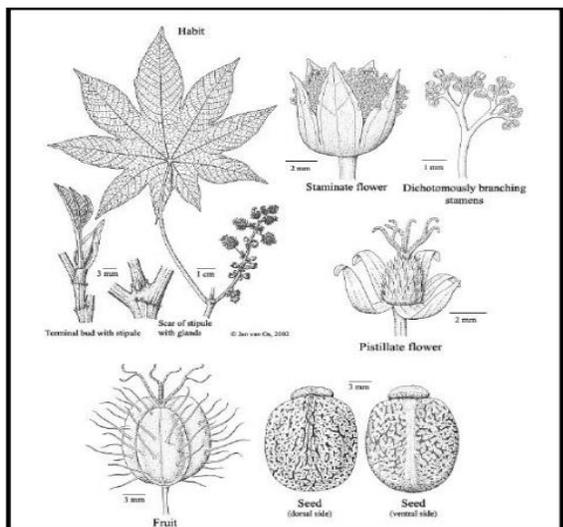


Figura 0.1 Anatomía de la higuerilla
(Karina, 2012, pág. 48)^[1]

Cuando se ha obtenido el biodiésel de aceite de higuerilla, este puede ser mezclado con; el combustible diésel convencional derivado del petróleo, en proporciones hasta del 15%, sin que la mezcla resultante, salga de las especificaciones de calidad establecidas por normas, en los estándares nacionales e internacionales para combustibles diésel y su posterior uso en motores de vehículos que usan diésel como combustible. La mayor dificultad para el uso del biodiésel de aceite de higuerilla en su estado

puro, es decir sin la combinación con el diésel convencional en motores funcionales, es su alta viscosidad presentada, esto podría producir daños en las partes internas de los elementos que constituyen el sistema de alimentación de combustible. Sin embargo, este biocombustible presenta excelentes propiedades de flujo a baja temperatura (Stratta, 2000, pág. 19)^[2].



Figura 0.2 Estructura química del biodiésel.
(Karina, 2012, pág. 11)^[1]

La Figura 2.2 muestra la cadena química del biodiésel donde, se observa la presencia del oxígeno, las cadenas de ácidos grasos (cadenas largas) y las cadenas desprendidas del alcohol que se ha utilizado en el proceso de transesterificación (cadenas cortas). Estas cadenas se descomponen al momento de la reacción química de la combustión.

4. Proceso de elaboración del biodiésel.

El biodiésel es un combustible de origen vegetal, que en este caso es el aceite proveniente de las semillas de la planta de higuerilla (*Ricinus communis*); donde, para la obtención de mejores resultados, se utiliza aquel que posea una calidad de índole farmacéutico, o que a su vez es más refinado y libre de impurezas. (Karina, 2012, pág. 3)

4.1. Aceite de Higuerilla

Este aceite de higuerilla presenta algunas propiedades físicas como: es viscoso, inodoro, sabor muy desagradable caracterizándolo por su indigestibilidad, se puede disolver con catalizadores (alcoholes) en cualquier proporción y su almacenamiento por largos periodos de tiempo se las debe realizar herméticamente para que no presente ningún riesgo.



Figura 4.3 Aceite de Ricino (Higuerilla).

Este aceite presenta una viscosidad evidentemente alta cuando se trabaja con temperaturas menores de 50 °C, siendo este un factor importante en el proceso de inyección si se trabaja en su estado más puro, otra característica de este aceite puede contener niveles de agua relativamente altos a los otros aceites produciendo oxidación en elementos metálicos en estados de reposo prolongados.

4.2. Hidróxido de sodio.

Este compuesto químico es más conocido como soda cáustica, la cual tiene un color blanco característico y se lo encuentra en forma sólida (perlada o granulada). Esta tiene la propiedad de absorber la humedad del aire, haciéndolo a este compuesto muy corrosivo.

El uso de este compuesto es principalmente utilizado para romper las cadenas grasas del aceite de higuerilla dentro de la reacción química llamada transesterificación.



Figura 4.4 Hidróxido de Sodio.

La Figura 4.2 muestra el hidróxido de sodio perlado o granulado que se utilizó para la elaboración del biodiésel.

4.3. Metanol.

Es el compuesto que se va a combinar con el hidróxido de sodio para obtener el metóxido de sodio el cual nos permitirá hacerla correcta reacción química que nos permitirá realizar el desplazamiento de alcohol a partir de un éster por otro alcohol dentro del proceso de esterificación. La fórmula química de este elemento es CH_3OH .



Figura 4.5 Metanol 99%.

Este elemento hay que utilizarlo con cuidado, ya que presenta una alta toxicidad si es ingerido, también puede presentar irritaciones si este es inhalado, el metanol es muy utilizado para la elaboración de combustibles para vehículos (Stratta, 2000, pág. 38). La Figura 3.3 muestra el metanol al 99 % de pureza que se utilizó en el trabajo, con la finalidad de obtener mejores resultados, con un biodiésel de calidad.

4.4. Reactor Químico.

El reactor químico en donde se procede a realizar la mezcla entre las materias primas, en el cual se someten a los parámetros de temperatura, presión, caudal. En este se realiza toda la reacción que se necesita para la obtención del biocombustible.



Figura 0.6 Reactor químico.

La Figura 3.4 muestra al reactor que está constituido de un depósito cónico, con una válvula de descarga en la parte inferior, en la parte superior cuenta con un motor adaptado un eje, este contiene espas, con el propósito de realizar una mezcla optima entre las materias primas.

5. Obtención del Biocombustible.

En los motores diésel se han realizado pruebas con diferentes tipos de combustibles alternativos, en el caso de los motores diésel se pueden usar directamente aceites vegetales. El principal problema del uso de estos tipos de aceites es que provienen de las plantas que, generalmente contienen impurezas tales como: agua, odorantes, ácidos grasos libres, esteroides entre otras.

En el proceso que se utilizó consta la utilización de los materiales antes mencionados siguiendo los siguientes pasos:

Debemos medir la cantidad exacta de aceite de higuera, la cual vamos a procesar, este se realizó con probetas de 1000 mL.



Figura 5.1 Materiales a Utilizar.

Seguidamente realizamos los cálculos de la mezcla que se va a realizar entre el hidróxido de sodio y el metanol, el mismo que corresponde a por cada 1000 mL de aceite de higuera se mezcla, 200 ml de metanol más 5 gr de hidróxido de sodio.

Al definir las cantidades a realizar la transesterificación; vamos a realizar la mezcla entre el metanol y el hidróxido de sodio, la cual es una termo-reacción o reacción generadora de calor, esta mezcla debe ser medida su alcalinidad o su acidez, siendo el pH un valor de once o en su defecto presentar un color azulado intenso como se muestra en la Figura 5.2 siendo ésta ideal para esta solución.

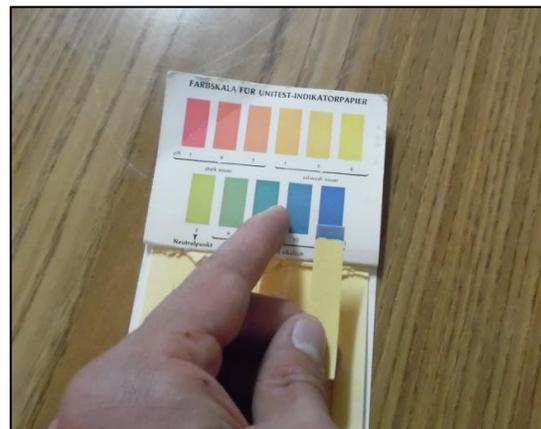


Figura 5.2 Pruebas de pH mezcla metóxido de sodio.

También se puede comprobar el pH correcto mediante el uso del reactor llamado fenolftaleína, el cual debe tomar un color rosado intenso indicativo que la solución es la adecuada para el proceso.

Luego de preparada la mezcla se vierte dentro del reactor para, calentarla a una temperatura máxima de 50 a 55 grados centígrados, el mismo tiene un motor acoplado a una bomba de agua, que le permite generar un caudal interno de la mezcla, adicionalmente se adaptó un motor con espas que haga la función de agitador dentro del reactor, durante un periodo de 2 a 3 horas aproximadamente.



Figura 5.3 Adaptaciones en el reactor químico.

En la Figura 5.3 se observa el mecanismo de agitación, que se lo elaboró con un motor externo de 110 V, y un eje adaptados dos aspas, con el propósito de batir las mezclas haciendo que, ésta sea la más apropiada posible.

A continuación, se muestra la Figura 5.4 indicando el constante control de la temperatura dentro del reactor.



Figura 5.4 Control de temperatura en el reactor.

Dentro del proceso, es importante verificar que, la temperatura de la mezcla dentro del reactor se mantenga dentro del rango establecido, a su vez, se controla el pH de la mezcla que, al finalizar el proceso de transesterificación tiene que estar en un valor de 9, en la escala de alcalinidad.

El proceso de transesterificación que, consiste en una reacción química dentro de un reactor, el mismo que va a convertir un triglicérido en diglicéridos, monoglicéridos y finalmente en glicerina, durante este proceso en cada reacción es liberado una mol de éster metílico.

Terminado el proceso anterior se deja en reposo por el periodo de 12 a 24 horas para poder separar el glicerol del aceite.



Figura 5.5 Decantación del biodiésel por reposo.

El aceite en este momento el biodiésel se encuentra muy alcalino como resultado de la reacción química en el proceso dentro del reactor, es por ese motivo que se debe proceder al lavado de la mezcla.

Para el lavado se utilizó 5 litros de agua para cada 20 litros de mezcla procesada se muestra en la Figura 5.6, esto permitirá tener una separación de la glicerina del biodiésel y mantener un Ph neutro, para el uso de motores de combustión interna.



Figura 5.6 Lavado del biodiésel con agua.

La Figura 5.6 muestra el lavado del biodiésel donde, se aprecia su separación, por la diferencia de sus densidades.

5.1. El diésel y las mezclas B5 y B10.

El diésel es el combustible de biológico que ha sido fosilizado durante un periodo de millones de años, en el trabajo de investigación se utilizó diésel premium por sus características de ser el gasoil, características óptimas dentro del país.

Este diésel es encontrado en cualquier gasolinera del país

5.2. Diésel.

Dentro del estudio de la estructura física del diésel las mezclas del biodiésel, se tomó muestras de los combustibles para llevarlos a un laboratorio químico, con la finalidad de observar su estructura microscópica y su cambio al ser combinado con otros fluidos.

A continuación, se muestra las vistas obtenidas en el microscopio, donde se puede observar de forma amplia su estructura.



Figura 5.7 Vista microscópica del diésel premium.

La Figura 5.7 muestra la vista microscópica del aceite mostrando un nivel bajo de impurezas en su estructura física, para observar claramente en el microscopio, se combina un compuesto llamado hematoxilina con la muestra a observar y esta tiene la propiedad de proporcionarle un tinte negro a compuestos biológicos de la muestra; en consecuencia, se puede observar los residuos biológicos del diésel que es producto del refinamiento del petróleo y es la descomposición de materia orgánica en periodos de tiempo muy prolongados.

5.3. Mezcla B5.

Esta mezcla corresponde a la combinación del diésel con el biocombustible elaborado en el trabajo, la composición corresponde, un 95 % de diésel fósil y un 5 % de B100 esto quiere decir que, en 1000 mL de biodiésel, a una mezcla B5 se tiene 950 mL de diésel y 50mL de B100.

De igual forma se observó en el microscopio la mezcla del combustible a una mezcla B5, con el propósito de, determinar si su estructura ha sido modificada de alguna forma al realizar esta mezcla. A continuación, se muestra la vista microscópica del biodiésel a una mezcla B5.

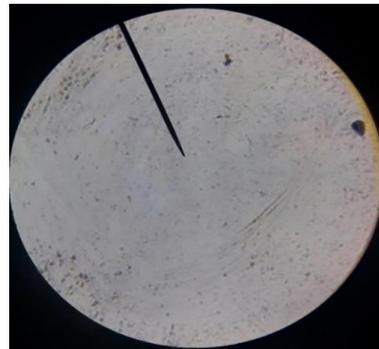


Figura 5.8 Vista microscópica del biodiésel mezcla B5.

En la Figura 5.8 muestra el aumento de residuos orgánicos, debido a la mezcla del diésel con el biodiésel en la composición antes mencionada, siendo muy notoria el cambio de su estructura física.

5.4. Mezcla B10.

Esta mezcla es la combinación del diésel con el biocombustible elaborado en el trabajo, la composición corresponde, un 90 % de diésel fósil y un 10 % de B100 esto quiere decir que en 1000 mL de biodiésel a una mezcla B10 tenemos 900 mL de diésel y 100 mL de B100.

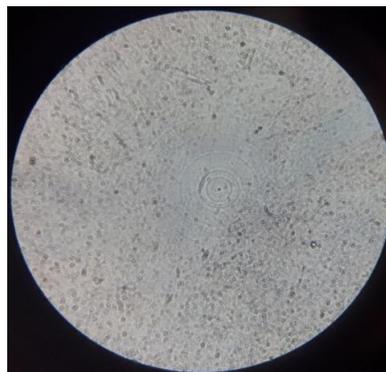


Figura 5.9 Vista microscópica de la mezcla B10.

La Figura 5.9 muestra el aumento notable de residuos orgánicos, debido a la mezcla del diésel con el biodiésel en la composición antes mencionada, siendo muy notoria el cambio de su estructura física.

Este cambio en su estructura física se relaciona con el cambio de propiedades fisicoquímicas mostradas en la Tabla 3.2, determinando así el cambio de la viscosidad y la densidad de los mismos factores que principalmente van a causar efectos en el proceso de inyección del combustible dentro del motor.

5.5. Esquema interno del inyector mecánico y electrónico diésel

Para una mejor apreciación de los elementos constituyentes de un inyector mecánico se procede a realizar un corte al inyector, con el fin de observar su diagrama interno y así, poder determinar algunos puntos donde se pueden generar residuos con el uso prolongado de los biocombustibles. Este proceso se realizó a los dos tipos de inyectores para, apreciar de su diseño interno, sus partes internas; determinando y analizando, como es el funcionamiento real de estos elementos. Además, se puede deducir las partes que pueden desgastarse u obstruirse, al momento de utilizar combustibles alternativos.

A continuación, se presenta un inyector mecánico y un inyector electrónico, después de haber realizado un corte a su estructura.

- Inyector Mecánico



Figura 5.10 Corte del inyector mecánico diésel.

Como se aprecia en la Figura 5.10, la entrada del combustible se encuentra en la parte superior del inyector; el combustible llega a la tobera de inyección mediante el conducto claramente definido a la presión del combustible necesaria para la apertura de la aguja de la tobera de inyección, luego que el combustible es atomizado el excedente del mismo retorna por la aguja hacia los conductos de retorno.

- Inyector Electrónico Diésel



Figura 5.11 Inyector electrónico diésel.

Como se aprecia en la Figura 5.11 la entrada del combustible se encuentra en la parte superior del inyector; el combustible llega a la tobera de inyección mediante el conducto claramente definido a la presión del combustible necesaria para la apertura de la aguja de la tobera de inyección, luego que el combustible es atomizado el excedente del mismo retorna por la aguja hacia los conductos de retorno.

5.6. Pruebas de trabajo de inyectores en el Laboratorio.

Estas pruebas están enfocadas en la verificación del comportamiento de los inyectores, en base la recolección de datos, obtenidos mediante ensayos de laboratorio, en el presente trabajo se realizó ensayos de para determinar la calidad del chorro diésel en el motor.

Al realizar estos ensayos se pretende definir cuál es el comportamiento de la atomización al usar biodiésel con mezclas B5 y B10.

Es muy importante definir si el funcionamiento de los inyectores se altera de alguna forma al ser cambiado, a un fluido al que su estructura y diseño no han sido estudiadas, afectando en el rendimiento del motor.

5.7. Chorro diésel Inyector mecánico.

Para realizar este estudio se procede a colocar el diésel en el conjunto probador de inyectores mecánicos, se procede a alinearlos perpendicularmente a la mesa de trabajo donde, se colocará una hoja, que es donde se va a plasmar la cantidad de combustible inyectado, donde podemos

observar y graficar al momento de inyección la penetración del chorro y su atomización gradualmente, este proceso se repitió con las mezclas B5 y B10.

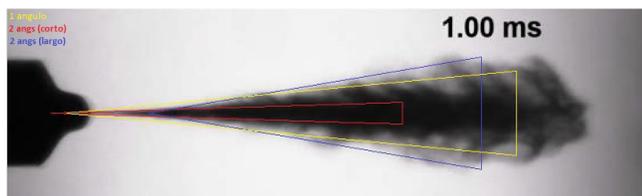


Figura 5.12 Ángulo de chorro diésel.
(García, 2006, pág. pag38).

En la Figura 5.12 muestra los ángulos que pueden encontrarse en un chorro diésel. Donde, un factor muy importante es, considerar que la presión turbulenta existente en la cámara de compresión, tiene una influencia en los parámetros de inyección para una característica de chorro reactiva, es que todas las pruebas se lo realizan a una presión atmosférica, o presión nula de compresión.



Figura 5.13 Pruebas con inyectores mecánicos.

La Figura 5.13 muestra el proceso de medición que se realizó, promediando los diámetros que se ha impreso en la hoja cuando el inyector se accionó, se obtuvo de esta manera una distancia de diámetro circunferencial, para el cálculo del ángulo de chorro se tomó la altura del inyector de 12 cm. Este experimento se lo realizó para analizar la existencia de variaciones en el proceso de inyección al uso de biocombustibles.

5.8. Chorro diésel Inyector electrónico.

El inyector electrónico usado en el análisis es de tipo lápiz con accionamiento electrónico por electro bobina, el principio de funcionamiento de este tipo de inyector es muy similar al inyector mecánico,

teniendo diferencias en el control de apertura, que es determinada por la ECU según los requerimientos del motor.



Figura 5.14 Pruebas con Inyector electrónico.

La obtención de datos correspondientes a los inyectores electrónicos se pudo realizar con la ayuda de un módulo para inyectores diésel conocido como tester, este equipo nos permite controlar mediante pulsos eléctricos la apertura del inyector. El inyector se instaló en el comprobador de inyectores diésel Bosch, que nos permite generar la presión necesaria para la apertura de este tipo de inyectores.

6. Comparación del rendimiento del motor diésel al uso de diésel convencional, biodiésel con mezclas B10.

En el presente capítulo se muestran todos los resultados obtenidos de las diferentes pruebas realizadas con el motor del vehículo kia Sorento, que fue sometido a recolección de los datos, además, se tabulo los datos de para este tipo de pruebas se lo pretende realizar según el siguiente orden. Este análisis se lo realiza luego de realizadas las pruebas de campo en el dinamómetro, se realizó con la finalidad de determinar el rendimiento de un motor con el diésel convencional, el biodiésel con mezcla B5 y Biodiésel con mezcla B10 obteniendo los siguientes resultados.

6.1. Potencia diésel vs Potencia B10

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.

Tabla 6.1 Potencia Diésel vs Biodiésel B10.

RPM	Promedio Potencia Motor (HP)	Promedio Potencia Motor B10 (HP)	RPM	Promedio Potencia Motor (HP)	Promedio Potencia Motor B10 (HP)
1 400	41,94	42,58	2 500	97,78	100,36
1 500	54,34	54,64	2 600	101,36	101,84
1 600	69,58	68,14	2 700	100,6	103
1 700	78,92	78,42	2 800	104,06	104,42
1 800	82,7	84,82	2 900	104,2	106,14
1 900	85,2	87,46	3 000	106,26	107,68
2 000	87,46	89,7	3 100	108	108,46
2 100	89,74	92,22	3 200	109,44	109,28
2 200	91,92	94,6	3 300	110,68	110,26
2 300	94,04	96,7	3 400	112,3	111,48
2 400	96,02	98,62	3 500	114,1	112,72

La Tabla 6.1 muestra la potencia del diésel con una mezcla B10, la que presenta un aumento similar de potencia entre las 1 400 y 1 700 rpm, al seguir el aumento de las rpm nos muestra un incremento de potencia al uso del biodiésel a una mezcla B10 en comparación al mostrado por el diésel. Este incremento de potencia está comprendido entre las 1 700rpm y las 3 300rpm para finalmente empezar su decrecimiento a los 3 500 rpm.

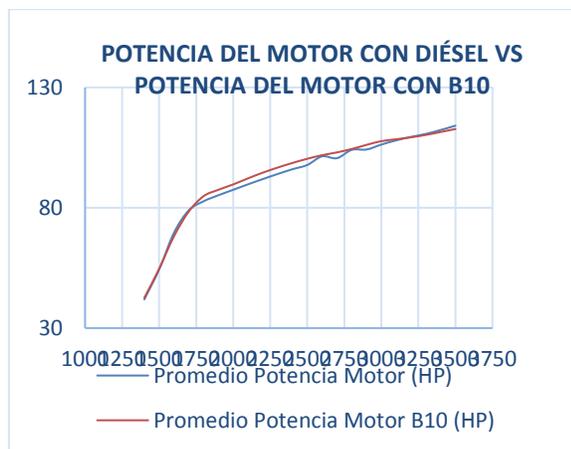


Figura 6.7 Potencia motor usando Diésel y Biodiésel.

La Figura 6.1 muestra dos curvas que representan, la potencia generada por el diésel y la potencia generada por el biodiésel con mezcla B10; permitiendo observar cual es la variación potencia a cada régimen de motor. Como muestra la figura no presenta variación notoria desde las 1 400 rpm hasta las 1 700 rpm, pero a partir de las 1 700 rpm el biodiésel (B10) presenta un incremento del 2 % en la potencia generada, hasta que se llega a equipararse con el diésel a las 3 200 rpm. A partir de las 3 200 rpm el diésel presenta un incremento de un 1% a comparación del biocombustible hasta llegar al pico máximo que son las 3 500rpm presentando una variación porcentual de 1,21 % ante el biodiésel.

6.3. Par motor con diésel vs par motor b10

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.

Tabla 6.2 Par Motor diésel vs Biodiésel B10.

RPM	Promedio Par Motor (lbf. ft)	Promedio Par Motor B10 (lbf. ft)	RPM	Promedio Par Motor (lbf. ft)	Promedio Par Motor B10 (lbf. ft)
1 400	157,32	159,72	2 500	205,4	210,86
1 500	190,22	191,32	2 600	200,72	205,7
1 600	228,48	223,56	2 700	195,72	200,32
1 700	243,9	242,32	2 800	191,44	195,84
1 800	241,34	247,5	2 900	188,7	192,2
1 900	235,54	241,78	3 000	186,02	188,46
2 000	229,62	235,62	3 100	182,98	183,74
2 100	224,38	230,66	3 200	179,6	179,36
2 200	219,5	225,8	3 300	176,16	175,48
2 300	214,8	220,8	3 400	173,48	172,18
2 400	210,14	215,84	3 500	171,22	169,08

La Tabla 6.2 muestra el par motor del diésel con una mezcla B10, esta nos muestra un incremento similar de potencia entre las 1 400 y 1 700 rpm, al seguir el aumento de las rpm, muestra un incremento de par motor al uso del biodiésel a una mezcla B10 en comparación al mostrado por el diésel. Este incremento de par motor está comprendido entre las 1 700rpm y las 3 200rpm para finalmente empezar su decrecimiento a los 3 500 rpm.

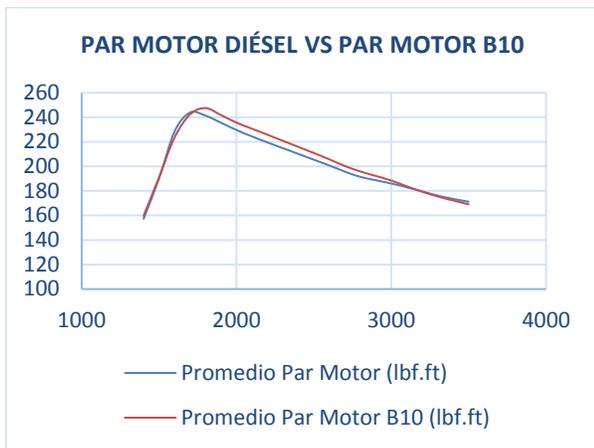


Figura 6.8 Par motor Diésel vs Biodiésel B10

La Figura 6.2 muestra dos líneas que representan el torque generado por el diésel y el torque generado por el biodiésel (B10); permitiendo analizar cuál es la variación del torque a cada régimen del motor. Como muestra la figura no presentan variación notoria desde las 1 400 rpm hasta las 1 700 rpm, pero a partir de las 1 700 rpm el biodiésel (B10) presenta un incremento porcentual del 2.5 % ante el comportamiento del diésel. A las 3 200 rpm el torque que produce cada uno 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 3 500 rpm presentando una variación porcentual de 1,21 % ante el biodiésel.

6.3. Análisis de los parámetros de funcionamiento de los inyectores mecánicos, al uso del biocombustible.

Para poder observar la cantidad de volumen de combustible inyectado se colocó el inyector de tetón el cual presenta un solo orificio de inyección en la tobera, se instaló el inyector en el probador de presión de inyectores diésel a una altura de 12 cm, para accionarlo y que el chorro sea reflejado en una hoja de papel. Donde, se pueda medir su diámetro aproximado y definir un volumen de combustible inyectado.

Este proceso se realizó en base a 5 muestras con cada uno de los combustibles mezclados, obteniendo como resultado lo siguiente.

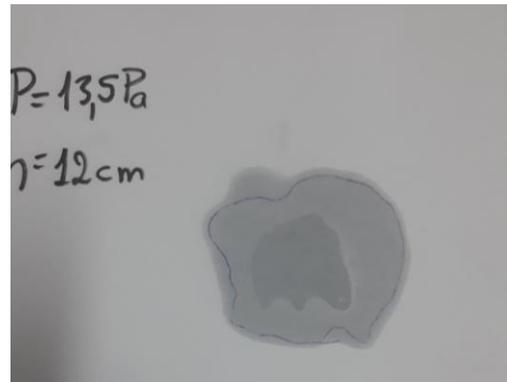


Figura 6.9 Chorro diésel.

La Figura 6.3 muestra la cantidad de combustible expulsado del inyector a una presión de 13,5 MPa y una altura de 12 cm. Este experimento permite ver cómo está constituido el perfil de un chorro diésel luego de los orificios del inyector.

6.4. Ángulo del chorro calculado al uso de diésel.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores, cuando este trabaja con diésel, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 6.3 muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

Tabla 6.3 Resultados de ángulo de chorro usando diésel.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector (MPa)	Volumen en cono (cm ³)	DIÁMETRO cm	Ángulo del cono (°)
Diésel	12	13,3	47,12	7,5	82,67
	12	13,1	43,98	7	75,62
	12	12,9	43,35	6,9	74,26
	12	13	45,86	7,3	79,80
	12	13,1	42,09	6,7	71,57

La Tabla 6.3 muestra la tabulación de datos luego de realizar 5 muestras para la determinación del ángulo de chorro diésel inyectado nos muestra un ángulo promedio de 78°, desde la punta del inyector hasta una distancia fija de 12 cm.

6.5. Ángulo del chorro calculado al uso de biodiésel B5.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores, cuando este trabaja con biodiésel con

mezcla B5, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 4.4, muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

Tabla 6.4 Resultados de ángulo usando biodiésel B5.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(M Pa)	Volumen en cono (cm ³)	DIAMETRO cm	Ángulo del cono (°)
B5	12	13,2	45,86	7,3	79,80
	12	13,4	49,63	7,9	88,62
	12	13,3	47,12	7,5	82,67
	12	13,3	45,23	7,2	78,39
	12	13,3	46,49	7,4	81,23

La Tabla 6.4 muestra la tabulación de datos luego de realizar 5 muestras para la determinación del ángulo de chorro diésel inyectado nos muestra un ángulo promedio de 82,6°, desde la punta del inyector hasta una distancia fija de 12 cm.

6.6. Ángulo del chorro calculado al uso de Biodiésel B10.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B10, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 6.5 muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

Tabla 6.5 Resultados ángulo usando biodiésel B10.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(M Pa)	Volumen en cono (cm ³)	DIAMETRO cm	Ángulo del cono (°)
B10	12	13,5	47,12	7,5	82,67
	12	13,4	49,00	7,8	87,11
	12	13,4	49,63	7,9	88,62
	12	13,7	49,63	7,9	88,62
	12	13,5	47,75	7,6	84,1368 523

La Tabla 6.5 muestra la tabulación de datos luego de realizar 5 muestras para la determinación del ángulo de chorro diésel inyectado nos muestra un ángulo de 86,6°, desde la punta del inyector hasta una distancia fija de 12 cm.

Comparación del ángulo de chorro en inyector tipo tetón usando diésel y biodiésel B5 y B10.

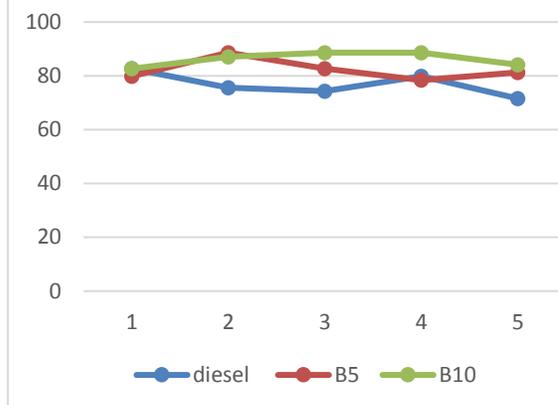


Figura 6.10. Comparación del ángulo de chorro en un inyector tipo tetón usando diésel y biodiésel.

La Figura 6.4 muestra las curvas características del chorro diésel luego de la tabulación de datos obtenidos, mostrando una gran uniformidad en su ángulo al uso del biodiésel a una mezcla B10, en comparación al biodiésel con mezcla B5 y con diésel. Dados estos resultados se puede decir que la mejor característica de chorro se presenta cuando este usa el biodiésel con mezcla B10.

6.7. Análisis de los parámetros de funcionamiento de los inyectores electrónicos, al uso del biocombustible.

Para poder observar la cantidad de volumen de combustible inyectado se colocó el inyector electrónico denso, este cuenta con 6 orificios de inyección en la tobera, se instaló el inyector en el probador de presión de inyectores diésel a una distancia de 15 cm, para accionarlo se utilizó un equipo para el control electrónico del inyector, permitiéndonos la apertura del inyector, entonces el chorro se refleja en una hoja de papel. Donde, se pueda medir su diámetro aproximado y definir un volumen de combustible inyectado.

6.8. Ángulo del chorro calculado al uso de diésel.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores electrónicos, cuando este trabaja con

biodiésel con mezcla B10, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 6.6 muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

Tabla 6.6 Resultados de ángulo de chorro usando diésel.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen en cono (cm ³)	DIAMETRO cm	Ángulo del cono (°)
Diésel	15	20,3	118,73	5,5	21,24
	15	19,9	141,3	6	23,22
	15	20	136,62	5,9	22,83
	15	20,1	160,76	6,4	24,82
	15	20,2	132,03	5,8	22,43

La tabla 6.6 muestra el ángulo del chorro formado al uso de combustible diésel, tomado en 5 muestras a una altura de 15 cm, este muestra un ángulo promedio de 23° de formación de chorro. Este ángulo es más pequeño que los ángulos obtenidos en los inyectores mecánicos por el motivo que, estos presentan mayor cantidad de orificios de inyección en la tobera de inyección. Por lo tanto, distribución del combustible hacia todos los orificios de la tobera genera una disminución de presión más rápida en comparación a los inyectores mecánicos.

6.9. Ángulo del chorro calculado al uso de biodiésel B5.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores electrónicos, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B5, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 6.7, muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

Tabla 6.7 Resultados de ángulo usando biodiésel B5.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen en cono (cm ³)	Diámetro (cm)	Ángulo del cono (°)
B5	15	13,2	170,97	6,6	25,62
	15	13,4	160,76	6,4	24,82
	15	13,3	155,78	6,3	24,42
	15	13,3	165,83	6,5	25,22
	15	13,3	165,83	6,5	25,22

La Tabla 6.7 se observa el ángulo del chorro formado al uso de biodiésel con mezcla B5, tomado en 5 muestras a una altura de 15 cm, mostrando un ángulo promedio de 23° de formación de chorro.

6.10. Ángulo del chorro calculado al uso de Biodiésel B10.

Realizando las pruebas de laboratorio en los inyectores electrónicos, cuando este trabaja con biodiésel con mezcla B10, se realiza una tabla la cual permite visualizar los datos obtenidos en la medición de la cantidad de chorro inyectado. A continuación, se presenta la Tabla 6.8, muestra cual es el ángulo que se obtiene durante el accionamiento del inyector.

Tabla 6.8 Resultados ángulo usando biodiésel B10.

Combustible	ALTURA cm	Presión de apertura inyector(MPa)	Volumen en cono (cm ³)	Diámetro (cm)	Ángulo del cono (°)
B10	15	13,5	176,19	6,7	26,02
	15	13,4	181,49	6,8	26,42
	15	13,4	181,49	6,8	26,42
	15	13,7	176,19	6,7	26,02
	15	13,5	170,97	6,6	25,62

La Tabla 6.8 muestra el ángulo del chorro formado al uso de biodiésel con mezcla B5, tomado en 5 muestras a una altura de 15 cm, mostrando un ángulo promedio de 23° de formación de chorro.

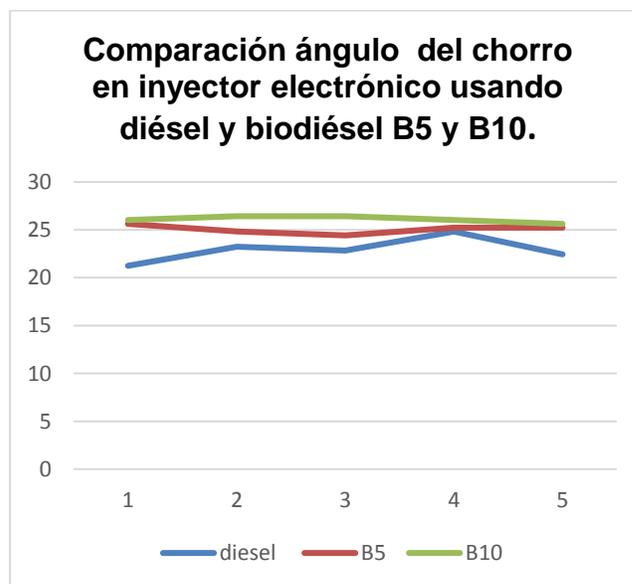


Figura 6.11 Comparación ángulo del chorro en inyector electrónico usando diésel y biodiésel B5 y B10.

La Figura 6.5 muestra las curvas características del chorro diésel luego de la tabulación de datos obtenidos, mostrando una gran uniformidad en su ángulo al uso del biodiésel a una mezcla B10, en comparación al biodiésel con mezcla B5 y con diésel. Al igual que los resultados en los inyectores diésel mecánicos su chorro es mas uniforme al uso del biocombustible a una mezcla B10.

Prueba de entrega y retorno de caudal usando diésel y biodiésel.

Ésta prueba se lo realiza con el propósito de comprobar el funcionamiento de los inyectores diésel electrónicos y su comportamiento con los combustibles mencionados en la investigación. En esta prueba se utilizó el comprobador de inyectores diésel, permitiéndonos medir la cantidad de combustible inyectado, en un tiempo determinado de apertura del inyector y a 100 ciclos de apertura.

Tabla 6.9 Datos Obtenidos de la Prueba de inyectores diésel.

COMBUSTIBLE	RECOLECCIÓN DE DATOS PRUEBA DE ENTREGA Y RETORNO DE COMBUSTIBLE					
DIÉSEL	Inyección time	Reposo	Inyección Count	Entrega	Retorno	Presión
DIÉSEL	1	60s	100	4,9	5,5	500-560
	1,25	60s	100	6,3	5,5	490-540
	1,5	60s	100	7,5	5,5	450 - 500
	1,75	60s	100	8,1	5,6	450-500
	2	60s	100	9	5,8	490-550
B5	1	60	100	5,1	6,1	550-590
	1,25	60	100	6,9	6,3	550-590
	1,5	60	100	7,5	6,5	540-580
	1,75	60	100	8	6,4	500-540
	2	60	100	13	5,5	450-500
B10	1	60	100	7,1	6	600-650
	1,25	60	100	9,3	6	600-650
	1,5	60	100	10,9	6,1	550-600
	1,75	60	100	12	6,3	500-540
	2	60	100	14	6,5	450-500

La Tabla 6.9 muestra la entrega y el retorno de combustible obteniendo mayor cantidad de entrega al uso de biodiésel con mezcla B10, con valor máximo de 14 cm³ en entrega de combustible, 6,5 cm³ en retorno de combustible; al uso de biodiésel con mezcla B5, se obtuvo un valor máximo de 13 cm³ en la entrega de combustible, 6.5 cm³ en su retorno y al uso de diésel mostró una entrega máxima de 9 cm³ con 5.8 cm³ en su retorno. En cuanto a la presión se ve un aumento de esta.

7. Conclusiones.

- El uso de biodiésel en vehículos diésel convencionales modifica su rendimiento (potencia y par motor), como también en el consumo de combustible y en la emisión de gases contaminantes. Donde, su potencia se pierde cuando este alcanza las revoluciones máximas de 3 500 rpm, con un porcentaje de pérdida del 1.12 % con respecto al diésel. Mientras que el rendimiento del motor presenta una mejoría en un 1,9 % con respecto al diésel, cuando este alcanza unas RPM desde, el 1 600 rpm hasta 3 300rpm.
- Se ha comprobado que el biodiésel a partir del aceite de higuera muestra una viscosidad más alta con un valor de 4,21 cSt en relación a la del diésel, que muestra una densidad máxima de 4.1 cSt, esto hace que el comportamiento del sistema de inyección de combustible, alterando los parámetros característicos de la inyección del combustible.
- Se pudo observar que el ángulo de chorro es diferente para cada inyector según la presión de apertura del mecanismo. En los inyectores mecánicos con tobera tipo tetón que consta de un solo orificio de inyección, presenta un ángulo de chorro de combustible de 76° al uso de diésel, 82.6° al uso de B5 y 86° al uso de biodiésel con una mezcla B10. Este ángulo es mayor que un inyector tipo lápiz, que comúnmente presenta entre 4 a 8 orificios de inyección. Estos presentaron ángulos en el chorro de combustible de 22.1° al uso de diésel, 24.6° al uso de B5 y 26.2° al uso de una mezcla B10. Obteniendo un

mayor ángulo al uso de Biodiésel con mezcla B10.

- Los posibles residuos que se formarían en los inyectores, al usar la mezcla B5 y B10, no han presentado problemas en periodos cortos, los inyectores no se han obstruido en con el combustible reposando en el esquema interno del inyector mecánico y electrónico.

8. Recomendaciones.

- Se recomienda el estudio del desgaste de los elementos de inyección en la bomba de alta presión como en el mecanismo de accionamiento del inyector al uso de biocombustibles.
- Se debe realizar una investigación real de campo en vehículos que se usen diariamente y recolectar datos del uso del biocombustible del vehículo a plena carga y sus efectos en el sistema de inyección.
- Buscar más alternativas en la obtención de diversos aceites que presenten diferentes características fisicoquímicas y comparar resultados en cuanto al rendimiento de los motores al usarlos como combustible alternativo.
- Investigar el comportamiento de los inyectores al uso de biodiesel con mezclas de B15, B20, B30 o incluso al uso de biodiésel B100.
- El estudio del comportamiento de la bomba de inyección en la entrega del combustible al uso del diésel y el biodiésel con mezclas de cualquier proporción.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Karina, «Obtención y caracterización de biodiésel a partir de aceite de semillas de higuera.,» Pereira, 2012.
- [2] J. Stratta, «Biocombustibles:», México., 2000.
- [3] J. M. García, El proceso de Combustión Turbulenta de chorros Diésel de inyección directa., Barcelona: Reverté, 2006.
- [4] H. Ivonne y G. Gonzales, «Biodiésel vs Petrodiésel,» p. 2, 2015.
- [5] E. Salinas y V. Gasca, «Los biocombustibles,» 2009. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/pdf/325/32512739009.pdf>.
- [6] Palermo, «Biodiesel,» 19 Noviembre 2008. [En línea]. Available: http://www.palermo.edu/economicas/pdf_economicas/Presentacion_biocom_Steinberg.pdf.
- [7] J. M. D. F. Payri, Influencia de la cavitación sobre el desarrollo del chorro diesel..
- [8] F. Fajardo, «Técnicas de caracterización para el uso de biodiésel basados en la normatividad internacional ASTM,» 2015. [En línea]. Available: <http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38339542>.
- [9] J. M. D. Francisco Payri, Modelado Fenomenológico del proceso de combustión por difusión diésel, Valencia: Reverté, 2008.

Biografía

Luis Guerrero nació el 9 de agosto de 1988 en la ciudad de Ibarra Imbabura Ecuador, sus estudios primarios los realizó en la escuela Modelo Velasco Ibarra, en la ciudad de Ibarra, sus estudios secundarios los realizó en el colegio Técnico Superior 17 de Julio.

Sus estudios superiores los realizó en la Universidad Técnica del Norte siguiendo la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz dentro de la cual se siente muy a gusto con esta decisión.