

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**MODIFICACIONES Y EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE
UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN CON ACEITE
VEGETAL PURO COMO COMBUSTIBLE.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGISTER EN SISTEMAS
AUTOMOTRICES**

ING. EDGAR FABIÁN JAYA FIERRO

ejayaespoch194@yahoo.com

ING. RODRIGO GUILLERMO VACA RIOFRÍO

rgvaca@gmail.com

DIRECTOR: MSc. ÁNGEL PORTILLA AGUILAR

ahph2001@yahoo.com

QUITO, ABRIL 2016

DECLARACIÓN

Nosotros, Edgar Fabián Jaya Fierro y Rodrigo Vaca Riofrío, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Edgar Fabián Jaya Fierro
AUTOR

Rodrigo Vaca Riofrío
AUTOR

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores Ing. Edgar Fabián Jaya Fierro e Ing. Rodrigo Vaca Riofrío bajo mi supervisión.

MSc. ÁNGEL PORTILLA AGUILAR
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Enorme gratitud al Ing. Ángel Portilla A. por dirigir y aportar con detalles importantes en esta investigación; a mi compañero, Rodrigo Vaca, por continuamente respaldar nuestra labor; a quienes integran el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares por las facilidades brindadas; a mi familia por promover todo el tiempo mi proyecto; a todos mis profesores por compartirme desinteresadamente su conocimiento; y a mis amigos por formar parte de momentos inolvidables.

Edgar Fabián Jaya Fierro

Agradezco a Dios por proveerme de vida y fuerza para terminar mi carrera universitaria; al Ing. Ángel Portilla A. por contribuir inmensamente en el desarrollo de esta investigación; a mi compañero de proyecto, Edgar Jaya, por permitirme formar parte de esta labor, y apoyarme constantemente para su culminación; a mi esposa Carolina, que aun en los momentos más difíciles me impulsó a seguir adelante con este proyecto y a los compañeros del CCIVEV por las facilidades brindadas para el desarrollo del proyecto.

Rodrigo Vaca Riofrío

DEDICATORIA

Dedicado con cariño y admiración a mis padres y hermanos, quienes con amor, sacrificio y aliento de lucha me motivaron a seguir a delante, y me enseñaron el significado de la vida; a mi esposa Diana por su lealtad, quien con cariño estuvo siempre pendiente, y fue constante para no dejarme vencer ante las situaciones adversas, por su verdadera amistad, sinceridad y apoyo incondicional

Edgar Fabián Jaya Fierro

El presente trabajo se lo dedico a mi esposa Carolina y a mi hija Antonella. Además a mis padres y a mis hermanas, que a lo largo de mi vida, me brindaron su apoyo incondicional y fueron ejemplo de trabajo, perseverancia, responsabilidad y humildad.

Rodrigo Vaca Riofrío

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS -----	X
LISTA DE TABLAS -----	XI
LISTA DE ANEXOS -----	XII
RESUMEN -----	XIII
ABSTRACT -----	XIV
PRESENTACIÓN -----	XV
OBJETIVOS -----	XVI
OBJETIVO GENERAL -----	XVI
OBJETIVOS ESPECÍFICOS -----	XVI
CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO -----	1
1.1 ANTECEDENTES -----	1
1.1.1 LOS COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN ECUADOR-----	2
1.1.2 INVESTIGACIONES AFINES CON ACEITE VEGETAL-----	5
1.1.2.1 INVESTIGACIONES EN MODIFICACIÓN DE PRESIÓN DE INYECCIÓN -----	7
1.2 ACEITE VEGETAL -----	9
1.2.1 ACEITE VEGETAL COMO COMBUSTIBLE-----	9
1.2.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE-----	10
1.2.3 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ACEITES-----	11
1.3 CONTROL DE CALIDAD DE COMBUSTIBLES -----	13
1.3.1 GRAVEDAD API Y PESO ESPECÍFICO-----	13
1.3.2 DENSIDAD ESPECÍFICA O RELATIVA-----	14
1.3.3 PUNTO DE INFLAMACIÓN.-----	14
1.3.4 ÍNDICE DE CETANO CALCULADO. -----	15
1.3.5 VISCOSIDAD-----	16
1.3.6 CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE -----	18
1.3.7 PODER CALORÍFICO -----	18
CAPÍTULO 2 MODIFICACIONES -----	20
2.1 MODIFICACIONES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE. -----	20
2.1.1 TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO-----	22
2.1.2 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA-----	23
2.1.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE ACEITE -----	26
2.1.4 CONSIDERACIONES DE MODIFICACIONES -----	27
2.1.5 EL PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN-----	29
2.2 MODIFICACIONES EN LA BOMBA DE INYECCIÓN -----	30
2.2.1 DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA DE INYECCIÓN-----	31
2.2.2 EQUIPO UTILIZADO EN CALIBRACIÓN DE LA BOMBA-----	32
2.2.3 PROCESO DE CALIBRACIÓN-----	33
2.2.4 TABLAS DE CALIBRACIÓN -----	34

2.3 MODIFICACIONES EN LA PRESIÓN DE INYECCIÓN.	35
2.3.1 CALIBRACIÓN DE PRESIÓN DE INYECCIÓN	36
2.4 MODIFICACIONES EN EL TIEMPO DE INYECCIÓN.	39
CAPÍTULO 3 PROTOCOLO DE PRUEBAS	40
3.1 METODOLOGÍA GENERAL	40
3.2 CONDICIONES Y CONSIDERACIONES PARA LOS ENSAYOS	41
3.2.1 CONDICIONES AMBIENTALES	41
3.2.2 CONDICIONES DE ESTABILIZACIÓN DEL VEHÍCULO	41
3.2.3 CRONOGRAMA DE REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS	41
3.2.4 COMBUSTIBLE DE PRUEBA	42
3.3 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS	42
3.3.1 PRUEBAS FÍSICO - QUÍMICAS	42
3.3.2 PRUEBAS DEL DESEMPEÑO DEL MOTOR	53
3.3.3 POTENCIA-TORQUE	54
3.3.4 DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE GASES DE ESCAPE	57
3.3.5 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE INYECCIÓN	61
3.3.6 DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE INYECCIÓN	64
3.4 EQUIPOS QUE SE UTILIZAN EN LOS ENSAYOS	66
3.4.1 VEHÍCULO DE PRUEBAS	66
3.4.2 DINAMÓMETRO	68
3.4.3 JUEGOS DE RODILLOS DE LA SERIE R102	70
3.4.4 PUPITRE DE COMUNICACIONES Y COMPUTADOR	71
3.4.5 CAJA DE INTERFACES	73
3.4.6 VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO	75
3.4.7 OPACÍMETRO	76
3.4.8 ELEVADOR DE CUATRO COLUMNAS	75
3.4.9 ELEMENTOS SUPLEMENTARIOS	76
3.4.10 VISCOCÍMETRO DE VIDRIO CAPILAR	76
CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS	77
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN PRUEBAS FÍSICO – QUÍMICAS.	77
4.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL LABORATORIO PUNTO DE INFLAMACIÓN.	78
4.1.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN DENSIDAD API	79
4.1.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL LABORATORIO ÍNDICE DE CETANO	80
4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS A CORROSIÓN LÁMINA DE COBRE	81
4.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS VISCOSIDAD CINEMÁTICA	82
4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL MOTOR	83
4.2.1 ANÁLISIS A LA POTENCIA NORMAL	84
4.2.1.1 ANÁLISIS DE POTENCIA CON VARIACIÓN DE PRESIÓN INYECCIÓN	84
4.2.1.1.1 ANÁLISIS DE POTENCIA CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 4CC.	84
4.2.1.1.2 ANÁLISIS DE POTENCIA CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 5CC.	85

4.2.1.1.3 ANÁLISIS DE POTENCIA CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 6CC. -----	86
4.2.1.2 ANÁLISIS DE POTENCIA CON VARIACIÓN DE TIEMPO DE INYECCIÓN -----	87
4.2.2 ANÁLISIS AL TORQUE O PAR MÁXIMO-----	88
4.2.2.1 ANÁLISIS DE TORQUE CON VARIACIÓN DE PRESIÓN INYECCIÓN -----	88
4.2.2.1.1 ANÁLISIS DE TORQUE CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 4CC. ----	88
4.2.2.1.2 ANÁLISIS DE TORQUE CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 5CC. ----	889
4.2.2.1.3 ANÁLISIS DE TORQUE CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 6CC. -----	90
4.2.2.2 ANÁLISIS DE TORQUE CON VARIACIÓN DE CAUDAL-----	91
4.2.2.3 ANÁLISIS DE TORQUE CON VARIACIÓN DE TIEMPO DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE-----	91
4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD. -----	92
4.3.1 ANALISIS A LA OPACIDAD. -----	92
4.3.1.1 ANÁLISIS DE OPACIDAD CON VARIACIÓN DE PRESIÓN INYECCIÓN -----	92
4.3.1.1.1 ANÁLISIS DE OPACIDAD CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140 BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 4CC. ----	93
4.3.1.1.2 ANÁLISIS DE OPACIDAD CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140 BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 5CC. ----	93
4.3.1.1.3 ANÁLISIS DE OPACIDAD CON PRESIÓN DE INYECCIÓN 140 BAR, 160 BAR, 180 BAR Y CAUDAL 6CC. ----	94
4.3.1.2 ANÁLISIS DE OPACIDAD CON VARIACIÓN DE TIEMPO DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE-----	96
 CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	 97
 5.1 CONCLUSIONES.-----	 98
5.2 RECOMENDACIONES-----	98
 BIBLIOGRAFÍA-----	 99
 ANEXOS-----	 101
ANEXO A1.1 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE . -----	102
ANEXO A1.2 RESULTADO DE OPACIDAD.-----	116
ANEXO A1.3 RESULTADO EN PRUEBAS FÍSICO -QUÍMICAS. -----	120

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Biocombustibles (2015) en América Latina y el Caribe	2
Figura 1.2 Estudio realizado por SARADA y resultados en potencia	7
Figura 1.3 Estudio realizado por SARADA y resultados en opacidad.....	8
Figura 1.4 Variación del instante de ignición, generado por la presión de la bomba.....	8
Figura 1.5 Viscosidad V_s temperatura para varios combustibles.....	17
Figura 2.1 Estudios de la viscosidad V_s temperatura para aceites vegetales.....	22
Figura 2.2 Viscosímetro de vidrio capilar.	24
Figura 2.3 Sistema de alimentación propuesto.....	26
Figura 3.1 Equipo Pensky-Martens.	43
Figura 3.2 Termohidrómetro.	46
Figura 3.3 Colocación correcta del termohidrómetro en la probeta.	47
Figura 3.4 Lectura correcta del hidrómetro.	49
Figura 3.5 Ábaco del índice de cetano.	51
Figura 3.6 Estándares comparativos de corrosión ASTM.	52
Figura 3.7 Bomba de corrosión.	53
Figura 3.8 Datos del motor del vehículo de pruebas	54
Figura 3.9 Acondicionamiento de las revoluciones del motor	55
Figura 3.10 Realización de la prueba	56
Figura 3.11 Curvas obtenidas luego de las pruebas	56
Figura 3.12 Inicio del software Eurosystem.....	58
Figura 3.13 Datos de identificación del vehículo	59
Figura 3.14 Datos teóricos del motor	59
Figura 3.15 Medición de opacidad con el software Eurosystem.....	60
Figura 3.16 Banco de Pruebas para Bombas de Inyección.....	61
Figura 3.17 Calibrador de inyectores	65
Figura 3.18 Vehículo de pruebas	66
Figura 3.19 Banco de potencia y juego de rodillos de la serie R102	69
Figura 3.20 Pupitre de comunicaciones.....	72
Figura 3.21 Caja de interfaces	73
Figura 3.22 Ventilador refrigerante	74
Figura 3.23 Opacímetro	75
Figura 3.24 Especificaciones del elevador	76
Figura 4.1 Punto de inflamación para diésel y aceite vegetal.	78
Figura 4.2 Gravedad específica para diésel y aceite vegetal.	79
Figura 4.3 Índice de cetano para diésel y aceite vegetal.	80
Figura 4.4 Resultados a la corrosión del diésel y aceite vegetal.	81

Figura 4.5 Patrón para determinar corrosión a la lámina de cobre ASTM D-130.	82
Figura 4.6 Resultados a la viscosidad del diésel y aceite vegetal.....	82
Figura 4.7 Potencia normal variación de presión y caudal constante de 4cc	84
Figura 4.8 Potencia normal variación de presión y caudal constante de 5cc	85
Figura 4.9 Potencia normal variación de presión y caudal constante de 6cc	86
Figura 4.10 Potencia normal con variación de tiempo de inyección.....	87
Figura 4.11 Mejor opción en Potencia y Opacidad de mediciones efectuadas	97
Figura 4.12 Par máximo con variación de presión y caudal constante de 4cc	89
Figura 4.13 Par máximo con variación de presión y caudal 5cc	90
Figura 4.14 Par máximo con variación de presión y caudal 6cc	91
Figura 4.15 Par máximo con variación del tiempo de inyección de combustible.	92
Figura 4.16 Opacidad con variación de presión y caudal 4cc.	93
Figura 4.17 Opacidad con variación de presión de inyección y caudal 5cc.	94
Figura 4.18 Opacidad con variación de presión de inyección y caudal 6cc.....	95
Figura 4.19. Opacidad con variación de tiempo de inyección.	96
Figura 4.20 Mejor opción en Opacidad según caudal y presión.	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1 Producción mundial y ecuatoriana de aceite de palma.....	4
Tabla 1.2 Consumo mundial de aceites.....	11
Tabla 1.3 Rendimiento de diez especies comunes de oleaginosas.....	12
Tabla 1.4 Propiedades físicas de aceite vegetal y diésel.....	16
Tabla 3.1 Especificaciones del diésel Premium.....	25
Tabla 3.2 Especificaciones aceite de palma.....	83
Tabla 3.3 Especificaciones del termómetro.....	44
Tabla 3.4. Especificaciones de los hidrómetros.....	46
Tabla 3.5. Tiempo de inmersión del termohidrómetro.....	48
Tabla 3.6 Características de banco de pruebas para bombas de inyección.....	62
Tabla 3.7 Características de inyectores.....	63
Tabla 3.8 Características líquido de calibración.....	63
Tabla 3.9 Características de calibrador de inyectores.....	65
Tabla 3.10 Especificaciones técnicas del vehículo.....	67
Tabla 3.11 Especificaciones del banco dinamométrico.....	70
Tabla 3.12 Rodillos del banco dinamométrico.....	70
Tabla 3.13 Pupitre de comunicaciones.....	71
Tabla 3.14 Computador principal.....	72
Tabla 3.15 Ventilador refrigerante.....	74
Tabla 3.16 Especificaciones del opacímetro.....	75
Tabla 3.17 Especificaciones del elevador.....	76
Tabla 4.1 Especificaciones del aceite de piñon.....	83

RESUMEN

La presente investigación tiene como propósito realizar modificaciones al sistema de inyección, evaluar el funcionamiento y comportamiento de un motor encendido por compresión, de una camioneta doble cabina marca Toyota Hilux, modelo 1998, con motor atmosférico de 2800 cc, y la utilización del aceite vegetal puro como combustible de aporte, para compararlo en desempeño con el diésel. El aceite vegetal puro de piñón, es producido en Portoviejo-Manabí, por la Estación Experimental del INIAP (INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS) desde el año 2012.

Para el efecto se realiza modificaciones en el sistema de inyección, caudal de la bomba, presión de inyección del motor, y se evalúa su funcionamiento en un banco dinamométrico.

Esta Tesis de Grado consta de 5 capítulos que a continuación se puntualizan brevemente.

El *Capítulo 1* presenta una revisión de la literatura, referente a los nuevos combustibles y tecnologías alternativas, características del aceite vegetal puro, y control de calidad de combustibles.

El *Capítulo 2* define de manera general las modificaciones del sistema de inyección en la alimentación de combustible, en el caudal entregado por la bomba de inyección, en la calibración de presión de inyección, y en el instante de ignición.

El *Capítulo 3* presenta los tipos de pruebas a realizarse, la descripción de los procedimientos realizados, la metodología general de pruebas y detalla los equipos utilizados.

El *Capítulo 4* expone los resultados de las pruebas realizadas y el análisis de los mismos lo cual permite comparar, evaluar el comportamiento y funcionamiento del vehículo utilizado, con el uso del aceite vegetal frente a las modificaciones realizadas.

El *Capítulo 5* define las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

ABSTRACT

The present investigation has the intention of make modifications to the injection system, evaluate the functioning and behavior of an engine ignited by compression (it is a double cabin light truck Toyota Hilux, model 1998, which has an atmospheric engine of 2800 cc) and use pure vegetable oil as fuel to compare its performance with diesel. The pure vegetable “piñón” oil is produced in Portoviejo-Manabí by the INIAP (“INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS”) Experimental Station since 2012.

For this purpose, modifications are done on the injection fuel system, pumping flow, injection pressure and after the performance of the motor is evaluated in a stationary brake dynamometer.

This Master’s thesis consists of 5 chapters which are briefly specified in the following paragraphs.

Chapter 1 presents a literature review, referring to the new fuels and alternative technologies, typical of the vegetable pure oil and quality control of fuels.

Chapter 2 defines in a general way the modifications on the fuel feeding system, on the fuel pump to control the flow, on the calibration of injection pressure, and on the ignition time.

Chapter 3 presents the types of proposed tests, the realized procedures description, the general tests methodology and the details of used equipment.

Chapter 4 exposes the realized test results and their analysis which allows to compare and evaluate the performance and functioning of the compression ignition engines when using vegetable oil once the modifications were done.

Chapter 5 defines the conclusions and recommendations of the present work.

PRESENTACIÓN

Actualmente debido al crecimiento del parque automotriz y el impacto ambiental que esto conlleva por el uso de combustibles fósiles, ha motivado a los países a investigar el uso de combustibles alternativos.

El uso de aceite vegetal como combustible, toma cada vez más relevancia en el mundo por estar considerado como combustible alternativo limpio y provenir de una fuente renovable.

Según datos de la Asociación Ecuatoriana Automotriz, hasta el año 2015 se registraron 2.2 millones de vehículos que circulan en el país, de ellos 160 mil tienen entre 20 y 25 años de antigüedad, 60 mil entre 25 y 30 años y 218 mil tienen más de 35. Estos tres últimos grupos causan aproximadamente el 35% de la contaminación ambiental en el país ⁰.

Se ha investigado el uso de etanol, biodiésel, gas licuado de petróleo, gas natural, existiendo pocas investigaciones relacionadas al uso del aceite vegetal puro como combustible en un motor de encendido por compresión.

El proyecto que se presenta tiene como objetivo iniciar una serie de experimentos que permitan determinar la viabilidad técnica y ambiental del aceite vegetal puro como combustible alternativo, así como investigar el comportamiento de los motores encendidos por compresión con el uso de aceite vegetal como combustible, verificando características físico-químicas del combustible, potencia, torque y opacidad.

Estas entre otras razones, sustentan este trabajo de investigación como aporte científico – técnico, que orienten a nuestro país a tener una diversidad energética de múltiples fuentes y en la cual se de gran peso a las fuentes renovables, ya que se está incentivando un cambio de matriz energética.

⁰<http://radioequinoccio.com/inicio/item/5809-ecuador-pqrque-automotor-supera-los-22-millones-de-unidades.html>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Modificar y evaluar el funcionamiento de un motor diésel utilizando aceite vegetal puro de piñón como combustible.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físicas y químicas del diésel y del aceite vegetal puro.
- Realizar las modificaciones en el sistema de inyección de combustible, bomba de inyección, inyectores, para el funcionamiento del motor con aceite vegetal puro.
- Determinar las curvas de potencia y torque obtenidos con el diésel y aceite vegetal puro.
- Realizar mediciones de opacidad mediante pruebas estáticas.

ALCANCE:

- Se modificará la temperatura del aceite vegetal puro usando un intercambiador de calor de tubos concéntricos por el que circula también el líquido refrigerante del motor. Además se calibrará la bomba de inyección para que abastezca en diferentes caudales al sistema, y se modificara la presión de inyección desmontando los inyectores y añadiendo arandelas de ajuste para el taraje.
- Se utilizará aceite vegetal puro de piñón, producido en Portoviejo, por la Estación Experimental del INIAP.
- Se implementará un sistema para la alimentación del aceite vegetal.

- Se realizará la comparación de torque, potencia, obtenidos con el uso de diésel y aceite vegetal puro como combustible.
- Se realizarán mediciones de opacidad con diésel y aceite vegetal puro.

CAPÍTULO 1 MARCO TEÓRICO

El presente capítulo realiza un análisis de investigaciones afines, se hace la descripción de los principales combustibles alternativos, y desarrolla el marco teórico para el control de calidad de combustibles.

1.1 ANTECEDENTES

La primera utilización del aceite vegetal en motores de combustión interna se remonta a 1900 cuando Rudolf Diésel (1858-1913) realizó experimentos con aceite de maní y años después Nagao et al (1948) lograron hacer funcionar un motor con aceite de pino¹.

La palma africana cultivada por su alta productividad de aceite tiene tres variedades: dura, tenera y pisifera; la variedad tenera es la que se utiliza comercialmente para la extracción del aceite, y es un cruce entre las otras dos variedades. Para los países tropicales, esta especie de palma, representa una alternativa de excelentes perspectivas para el futuro; ya que este cultivo produce diez veces más del rendimiento de aceite proporcionado por la mayoría de los otros cultivos oleaginosos².

Los buenos antecedentes del aceite de palma africana han sido vistos con buenos ojos por los científicos del planeta, que buscan combustibles renovables que puedan reemplazar total o parcialmente al diésel derivado del petróleo, y que sean beneficiosos para el medio ambiente, sin perjudicar las prestaciones mecánicas de los motores.

¹ NAGAO, F. (1948). *Japan society mechanicals engineers transactions*. Japón.

² QUESADA, G. (2006). *Cultivo e industria de la palma aceitera*. Costa Rica: Infoagro

1.1.1 LOS COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS EN AMÉRICA LATINA

En América Latina y el Caribe se producen biocombustibles por lo menos en diez países: Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Guatemala, Honduras, México, Paraguay y Perú, y esta comandada por Brasil y Colombia. Brasil tiene gran experiencia en producción de bioetanol, que se obtiene esencialmente a partir de caña de azúcar. Colombia cuenta con una fuerte capacidad instalada de refinación de aceite de palma en todo el territorio e investiga otras oleaginosas como la colza.

La figura 1.1 muestra la matriz energética de América Latina y el Caribe, y con este el estado actual de los biocombustibles en estos países.

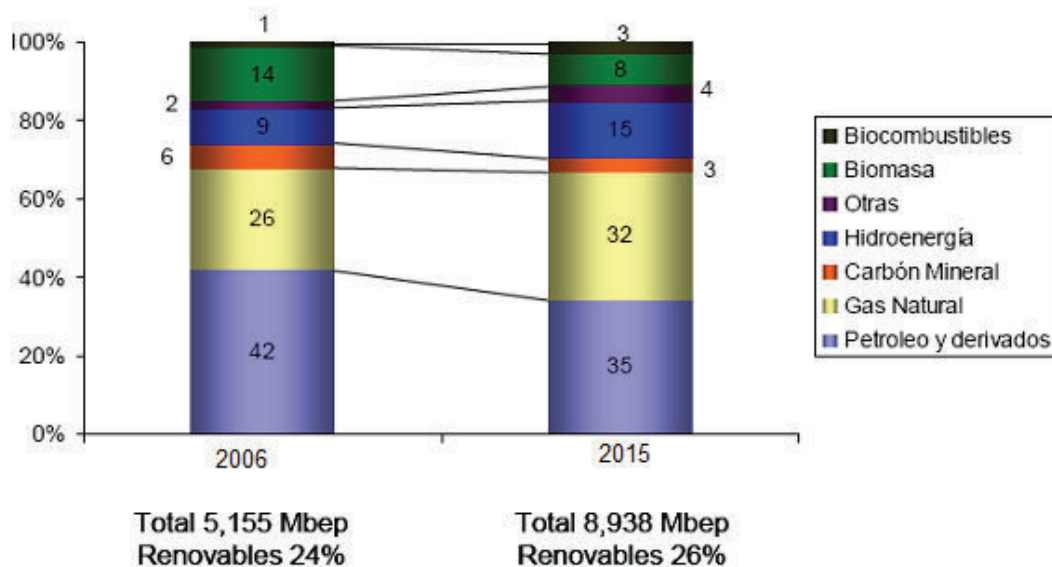


Figura 1.1 Biocombustibles (2015) en América Latina y el Caribe

Fuente: Olade – Siel.³

El uso de combustibles fósiles en Ecuador ha estado en constante aumento en las recientes décadas. En particular su uso en vehículos ha crecido tanto por el aumento del parque automotor como por el hecho que los combustibles fósiles presentan un subsidio en el país.

³ Organización Latinoamericana de Energía; Estado de los biocombustibles en América Latina y el Caribe.

En Ecuador, se incorporó en las políticas nacionales el apoyo al uso de biocombustibles por medio del Decreto Ejecutivo 2332, Registro Oficial 482, Diciembre 2004. En él se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de biocarburantes como componentes de los combustibles que se consumen en el país.

Nuestro país según al OLADE, es el tercer productor de combustibles alternativos en Sudamérica, a través de la empresa productora de grasas y aceites La Fabril (Manta), que está entre los principales exportadores de este producto. La Fabril se encuentra produciendo biodiésel a partir de aceite refinado de palma africana.

La producción anual de diésel en las refinerías del país al año 2014, fue de 459.813 miles gal, y la demanda de todos los sectores fue de 1490.819 miles gal, debiendo el déficit cubrir PETROECUADOR mediante importaciones⁴.

La demanda de diésel a nivel nacional – sector transporte – en el año 2014 fue de 810.644 miles gal, En el supuesto que se requiriera remplazar un 5% de este volumen BD5%, se requerirá aproximadamente 3,938 bls de Biodiésel/día lo que equivale a 1.417.800 bls Biodiésel/año y esto a aproximadamente 200.000 TM aceite de palma, la producción anual de nuestro país en el año 2012 fue 539 000 TM de aceite de palma⁵.

El biodiésel de palma aceitera es el más desarrollado en Ecuador se produce alrededor de 495.000 TM de aceite de palma africana conforme tabla 1.1 de las cuales se exporto cerca 150000 TM, con una área de producción de 200 mil hectáreas.⁶

⁴ Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Balance Energético Nacional Año 2015, Base 2014.

⁵ Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. Aceite de Palma y Elaborados 2014

⁶ Barriga R. Alfredo; Producción y uso del Biodiésel en el Ecuador; ESPOL

Tabla 1.1 Producción mundial y ecuatoriana de aceite de palma.**Principales productores mundiales de aceite**

País	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)/2009
Indonesia	22.100.000	3,95
Malasia	16.562.000	4,39
Otros	3.019.000	1,84
Tailandia	1.430.000	2,40
Colombia	941.000	3,40
Nigeria	930.000	2,08
Ecuador	495.000	2,04
TOTAL	45.477.000	

Fuente: Oil Word Anual 2012

Fuente: Oil World FEDEPALMA ANCUPA-ECUADOR.⁷

Una alternativa que ha generado impactos positivos en los países europeos y en los Estados Unidos, en cuanto a los motores de encendido por compresión, es el biodiésel y el uso de aceites vegetales.

En este sentido, Shafer⁸ expresa que la mejor solución para usar un combustible alternativo es que el motor sea compatible con ambos, y que además el nuevo carburante sea ambientalmente más limpio comparado con el combustible convencional. Según esta exigencia, el aceite de palma, se podría catalogar como una alternativa viable para ser utilizado en motores de combustión por compresión; ya que por sus características puede ser quemado puro o en mezclas con el combustible convencional, en una proporción del 10%, sin necesidad de realizar cambios mayores en el motor, lo cual generaría una reducción en los gases nocivos.

⁷ Oil World FEDEPALMA ANCUPA-ECUADOR; Biodiésel una perspectiva empresarial.

⁸ SHAFER, A. (1995). *The use of biofuel in modern diésel engines, proceedings of PORIM, Internatuional biofuel conference*. Alemania.

1.1.2 INVESTIGACIONES AFINES CON ACEITE VEGETAL

A continuación se presenta una revisión bibliográfica de las investigaciones más destacadas en lo referente al desempeño mecánico y ambiental de los motores encendidos por compresión, utilizando como carburantes al diésel y aceite vegetal, entre los aceites que se ha probado su utilización en motores encendidos por compresión están: aceite de piñón, aceite de polvo de arroz, aceite de girasol, aceite de palma, entre otros.

Gruber, Georg⁹ (2014) realizó un estudio utilizando aceite puro de piñón como combustible en un grupo electrógeno en las Islas Galápagos, en el se detalla las modificaciones realizadas, debido a la alta viscosidad, y bajo índice de cetano, se ha trabajado sobre el sistema de calentamiento, líneas de combustible, válvulas de admisión y escape, modificaciones en los inyectores, bombas de combustible y tiempo de inyección, sin embargo no se detalla las condiciones específicas de cada una de estas modificaciones.

Los motores diésel con aceites vegetales como combustibles generan prácticamente la misma potencia pero reduciendo la eficiencia térmica y reduciendo las emisiones (Atnes et al 2007; Raja et al 2003; Jeffrey and Nancy 2009).

Altin R. et al 2001¹⁰ concluyó que los aceites vegetales puros, pueden ser usados como combustibles en motores diésel sin ninguna modificación y al ser comparada con el diésel se observó una pequeña disminución en la potencia y las emisiones de partículas fueron más altas que las de combustible diésel.

⁹ GRUBER, G. (2014). *Pure jatropha oil for power generation on Floreana Island/Galapagos. Germany.*

¹⁰ ALTIN, C. (2001). *The potential of using vegetable oil fuel as fuel for diésel engines.* England

Raheman¹¹ et al presenta un estudio en un motor de un solo cilindro de inyección directa en el cual la presión de inyección fue cambiada ajustando la tensión de resorte del inyector de combustible, los resultados de este estudio son: la eficiencia térmica al freno aumento de 27,3% a 29,1%, Los HC se redujeron desde 166 a 130 ppm, los niveles de NOx aumentaron con el incremento de la presión de apertura de los inyectores, los niveles de opacidad se redujeron desde 4,6 Bosch Smoke Unit (BSU) a 3,2 BSU.

El uso de aceites vegetales en motores diésel fue estudiado por Nazar et al (2004)¹² su estudio fue orientado hacia la factibilidad de utilizar aceite de coco y concluyó que puede ser utilizado directamente en motores diésel sin ninguna modificación. La potencia de salida registró una ligera reducción de la eficiencia térmica, tanto las emisiones de HC y CO fueron encontradas altas para los aceites vegetales bajo condiciones de operación normal.

Bhattacharya and Reddy¹³, 1994 investigaron el uso de aceites vegetales como combustibles en motores de combustión interna y reportaron que la principal diferencia entre el diésel y el aceite vegetal incluía mayor viscosidad, alta densidad, disminución en los valores estequiométricos aire/combustible debido a la presencia de oxígeno molecular. Estas diferencias contribuían a una pobre atomización, tendencia a generar depósitos de carbón los cuales afectaban adversamente la durabilidad del motor; el tiempo de inyección y la presión de inyección fue crítica al determinar una apropiada atomización.

¹¹ RAHEMAN, H. (2011). *Effect of injection pressure on diésel engine performance based on experiment*. India.

¹² NAZAR, J. (2004). *Use of vegetable oils in diésel engines*. India.

¹³ BHATTACHARYA, H. R. (1994). *Vegetables oil as fuel for internal combustion engines*. India.

1.1.2.1 INVESTIGACIONES EN MODIFICACIÓN DE PRESION DE INYECCIÓN

En la investigación llevada a cabo por SARADA Naga¹⁴ según se muestra en figura 1.2 fueron realizadas varias pruebas en un motor diésel de cuatro tiempos y un solo cilindro de inyección directa, utilizando aceite de semilla de algodón y diésel, en el cual se estudio el efecto del incremento en la presión de inyección.

La presión de inyección fue incrementada desde 180 bar a 240 bar en pasos de 15 bar, la investigación revelo que la presión óptima para el aceite de semilla de algodón fue de 210 bar y para comparar el desempeño del motor se estudio el consumo específico de combustible, eficiencia mecánica, emisiones de escape los resultados se detallan en la figura 1.3.

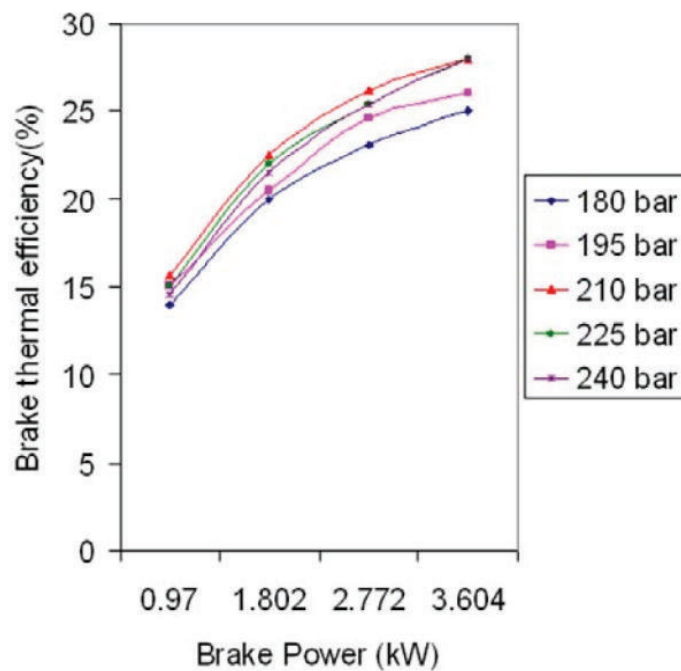


Figura 1.2 Estudio realizado por SARADA y resultados en potencia

(Fuente: Sarada, 2010)

¹⁴ SARADA, N. (2010). Optimization of injection pressure for a compression ignition engine. India

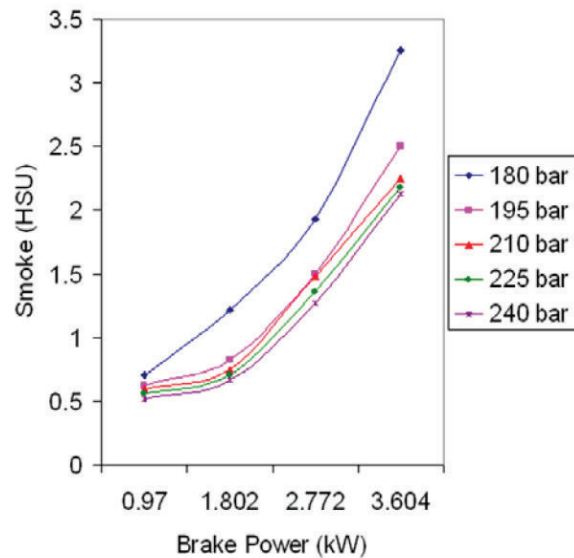


Figura 1.3 Estudio realizado por SARADA y resultados en opacidad

(Fuente: Sarada, 2010)

La sobre-presión generada por las presiones internas figura 1.4 en la bomba de inyección, genera un desencadenamiento prematuro de la inyección a partir de la bomba, como resultado: la inyección es anticipada.

Un estudio realizado por (HAAG, 2007) concluye que aumentando la presión de los inyectores se retrasa el instante de ignición, y que el instante de ignición a 130 bar con diésel corresponde al instante de ignición a 180 bar con aceite vegetal.

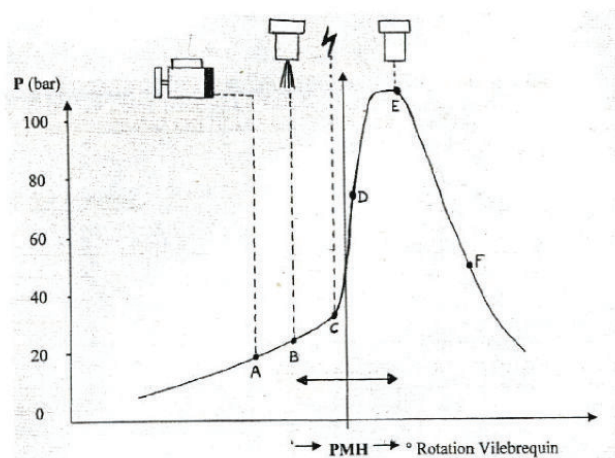


Figura 1.4 Variación del instante de ignición, generado por la presión de la bomba.

(Fuente: HAAG, 2007)

1.2 ACEITE VEGETAL

Los aceites y grasas vegetales son lípidos derivados de plantas, físicamente los aceites son líquidos a temperatura ambiente, y las grasas son sólidas; químicamente, ambos aceites y grasas están compuestos de triglicéridos. Aunque de diferentes partes de plantas oleaginosas se puede obtener aceite, en la práctica comercial, el aceite es extraído principalmente de sus semillas.

El aceite vegetal es energía solar bioquímicamente guardada de la mayor densidad. Las semillas tales como piñón, cacahuete, girasol y soya concentran la energía solar en sus aceites, el aceite vegetal representa la forma más densa de energía proveniente de la fotosíntesis. Se compone de carbono (C), hidrógeno (H) y un poco de oxígeno (O) en una relación de aproximadamente $C_{60}H_{120}O_6$.¹⁵

1.2.1 ACEITE VEGETAL COMO COMBUSTIBLE

Básicamente, el aceite vegetal puede considerarse como un combustible bueno y adecuado, no obstante, es más viscoso y dispone de un punto de ignición más alto que el diésel. Esto lo hace capaz de freír, pero como consecuencia dispone de una menor “combustionabilidad” durante el funcionamiento del motor. El uso de aceites vegetales como los de colza, palma, soya, girasol, cacahuete y oliva como combustibles alternativos para motores diésel data desde hace ya casi nueve décadas y el uso potencial de éstos han atraído la atención de los investigadores durante mucho tiempo.¹⁶

Existen dos formas seguras de usar aceite vegetal como combustible en un motor diésel: alterar químicamente al aceite para convertirlo en biodiésel (Transesterificación) o disminuir su viscosidad calentándolo. Esta última opción está cobrando cada vez más importancia, ya que el aceite no requiere de un

¹⁵ MARQUEZ. Montoya. (2009). *Prototipo de generador eléctrico alimentada con aceite vegetal*. Mexico

¹⁶ ELSBETT. (2009). *Aceite Vegetal*. España

proceso adicional, ni agregar sustancias que aumentan su precio, aunque hay que introducir modificaciones en el sistema de alimentación del motor.

El aceite vegetal caliente puede fluir con mayor facilidad a través de las líneas de combustible y los inyectores, éstos pueden pulverizar el aceite caliente tan bien como lo hacen con el diésel. Usado con precaución, el aceite vegetal puede ser un combustible seguro para un motor diésel.

Diversos factores determinarán la temperatura a partir de la cual, el aceite vegetal puede ser usado como combustible de forma segura, entre ellos se encuentran: El diseño del motor y su sistema de combustible, la calidad del aceite vegetal, la temperatura ambiente. De acuerdo a esto, esta temperatura deberá estar comprendida entre los 85°C.

Otra forma para reducir la viscosidad y sus problemas asociados es la micro emulsión, en ésta, el aceite vegetal es mezclado con alcoholes, diésel y solventes, en proporciones variables. El resultado es un combustible más apropiado para la operación en motores diésel.

1.2.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE:

El aceite contenido en la semilla se puede extraer mecánicamente (compresión o simple trituración) o químicamente (solventes). El primer método o extracción en frío se basa en someter a presión la semilla por medio de un tornillo prensa, obteniéndose así un aceite de buena calidad (el cual posteriormente debe ser filtrado y blanqueado). Para la extracción por solventes es necesario previamente triturar la semilla y luego adicionar una sustancia que disuelva el aceite, para así separar éste posteriormente por calentamiento.

Las ventajas más importantes del aceite vegetal natural:

- Gran valor calorífico: gran densidad energética.
- Forma líquida y, por ello, fácil de usar.
- La opacidad es menor que la del diésel.

- Cuando se quema tiene una eficiencia energética más grande.
- No es tóxico ni dañino para humanos, animales, suelos o agua.
- No es inflamable ni explosivo y no emite gases tóxicos.
- Es fácil de almacenar, transportar y utilizar.
- No causa daños si accidentalmente se vierte.
- En su manejo no se requiere tomar precauciones especiales.
- Es una forma reciclable de energía.
- No tiene efectos ecológicos adversos cuando es utilizado.
- Es producido de forma directa por la naturaleza, no ha de ser transformado.¹⁷

1.2.3 PRODUCCIÓN Y CONSUMO DE ACEITES

La mayoría de los aceites vegetales pueden usarse, con pocas limitaciones, directamente en los motores diésel, es necesario luego de extraerse que sea filtrado y purificado. Según Calzada (2013) el consumo mundial en los años 2007/2008 – 2012/2013 de aceites vegetales fue el indicado en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Consumo mundial de aceites

Ranking	Producto	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013
1*	Aceite de Palma	41,108	44,135	46,041	48,732	51,951	55,770
2*	Aceite de soja	37,751	35,883	38,789	41,282	42,555	42,777
3*	Aceite de colza	18,491	20,594	22,556	23,516	24,221	24,874
4*	Aceite de girasol	10,19	12,083	12,278	12,415	15,338	13,673
5*	Aceite de Almendra de Palma	5,028	5,266	5,602	5,734	6,144	6,513
6*	Aceite de maní	4,921	5,151	4,873	5,301	5,312	5,546
7*	Aceite de algodón	5,166	4,753	4,594	4,961	5,248	5,269
8*	Aceite de coco	3,450	3,425	3,521	3,701	3,406	3,642
9*	Aceite de oliva	2,811	2,778	3,083	3,252	3,236	2,669
Total mundial		128,916	134,068	141,337	148,894	157,411	160,733

(Fuente: Calzada, 2013.).¹⁸

Hay más de 350 especies de oleaginosas, o plantas que producen aceite y miles de sub- especies. La tabla 1.3 muestra el promedio del rendimiento en kilogramos de aceite por hectárea anuales para diez especies de oleaginosas,

¹⁷ LEGAZ, Ramses. (2010) Estudio de la viscosidad y densidad de diferente aceites para su uso como combustible. España

¹⁸ Calzada J. (2013). Evolución del mercado mundial de aceites vegetales

muchas especies producen más aceite en climas tropicales.

Al comenzar a utilizarse suelo agrario para el cultivo directo de biocombustibles, en lugar de aprovechar exclusivamente los restos de otros cultivos (en este caso, se habla de "biocombustibles de segunda generación"), se ha comenzado a producir un efecto de competencia entre la producción de comida y la de biocombustibles, resultando en el aumento del precio de la comida.

Tabla 1.3 Rendimiento de diez especies comunes de oleaginosas

CULTIVO	Kg. Aceite/HA
Palma	5,000
Coco	2260
Piñón	1590
Canola	1000
Cacahuate	890
Girasol	800
Cártamo	655
Soya	375
Maíz	145

(Fuente: Montoya, 2009.).

Un caso de este efecto se ha dado en México, con la producción de maíz. La compra de maíz para producir biocombustibles para Estados Unidos ha hecho que en el primer semestre de 2007, la tortilla de maíz (que es la comida básica en México) duplique o incluso llegue a triplicar su precio. Criticados por desplazar cultivos alimentarios, provocar el encarecimiento de los alimentos, y de no contribuir mayormente a la reducción de la emisión de Gases de Efecto Invernadero, los agro combustibles o biocombustibles de primera generación están dando paso al desarrollo de nuevas tecnologías de producción de biocombustibles que no afectan la seguridad alimentaria.

Los biocombustibles de segunda generación se posicionan como una respuesta a las acusaciones contra los de primera generación. Se pretende que

estos cultivos no alimentarios ocupen áreas marginales, para no desplazar los alimentos de las tierras agrícolas.

Entre estos, el cultivo más prometedor es el de algas, el alga es el productor biológico de aceite más eficiente del planeta. El alga puede abastecer las necesidades de combustible del planeta con muy poco espacio y agua, porque se reproduce más rápidamente que cualquier otra planta. De acuerdo al NREL (National Renewable Energy Laboratory), el alga consume más dióxido de carbono que otras plantas por lo que estas pueden usar las emisiones de dióxido de carbono proveniente de plantas de energía como fuente de nutrientes.

1.3 CONTROL CALIDAD DE COMBUSTIBLES SEGÚN NORMA ASTM

El combustible es inyectado a la cámara de combustión en los motores de encendido por compresión en un chorro líquido a alta presión, lo que hace que se le exija unas condiciones especiales en su calidad como combustible que, de no ser así, pueden producir afectaciones tanto durante el funcionamiento como en la vida útil del motor. Las propiedades del combustible que influyen en el comportamiento del motor son las siguientes.

1.3.1 GRAVEDAD API Y PESO ESPECÍFICO.

La medida de grados API es una medida de cuánto pesa un producto de petróleo en relación al agua. Si el producto de petróleo es más liviano que el agua y flota sobre el agua, su grado API es mayor de 10. Los productos de petróleo que tienen un grado API menor que 10 son más pesados que el agua y se asientan en el fondo, todos los valores son medidos a 60 °F (15.6 °C). La gravedad API es un factor que gobierna la calidad del petróleo crudo y sus productos, esta característica es una propiedad incierta de su calidad a menos que sea correlacionada con otras propiedades.

La fórmula usada para obtener la gravedad API es la siguiente:

- Gravedad API = $(141,5/GE \text{ a } 60 \text{ } ^\circ\text{F}) - 131,5$

La formula usada para obtener la gravedad específica del líquido derivada de los grados API es la siguiente:

- $GE \text{ a } 60 \text{ } ^\circ\text{F} = 141,5 / (\text{Gravedad API} + 131,5)$

La temperatura de 60°F es usado como el valor estándar para la medición y reportes de mediciones.

1.3.2 DENSIDAD ESPECÍFICA O RELATIVA

Se define la densidad específica como la relación entre la densidad absoluta de un producto (a una temperatura) dividido para la densidad del agua líquida (a 4°C). La escala más comúnmente utilizada es la escala en grados API (a 15°C), las densidad específicas o relativas de los combustibles líquidos varían, pero los más ligeros serán los que tengan menor contenido en átomos de carbono. De este modo, las gasolinas serán las que tengan menor densidad específica, mientras que los fuelóleos serán los que mayor densidad específica tengan. Esto se comprueba con los siguientes datos:

- Gasolinas: 0,60/0,70 g/cm³
- Gasóleos: 0,825/ 0,860 g/cm³
- Fuelóleos: 0,92/1 g/cm³

La mayoría de los aceites vegetales tienen densidades del orden de 0,92 g/cm³ a 15 °C, mientras que la del diésel responde al rango definido entre 0,81 – 0,86 g/cm³. Según López Sastre et al. (1995), este dato no entraña ningún problema de funcionamiento. Ésta disminuye con la transesterificación o bien mezclando con diésel (Sims, 1985).

1.3.3 PUNTO DE INFLAMACIÓN.

El punto de inflamación es la temperatura mínima necesaria para que un material inflamable desprenda vapores que, mezclados con el aire, se inflamen

en presencia de una fuego, para volverse a extinguir rápidamente, el conocimiento del punto de inflamación sirve para prever el peligro de encendido al manipular combustibles.

No debe confundirse el punto de inflamación con el punto de encendido. El primero indica inflamación provocada con auxilio de una llama, y el segundo indica encendido sin ayuda de llama alguna, esto es solo por contacto con el aire caliente de la cámara de combustión.

El punto de inflamación da una idea de la cantidad de compuestos volátiles o muy volátiles que puede tener un combustible. Teniendo en cuenta el punto de inflamación se puede estimar cuales van a ser las condiciones de almacenamiento de ese combustible.

1.3.4 ÍNDICE DE CETANO CALCULADO.¹⁹

El número de cetano es un índice del tiempo que demora el carburante en encenderse una vez inyectado a la cámara de combustión. Según Chang et al. (1996) y Navarro (1997), un combustible diésel de mediana calidad debe tener un índice de cetano de 40 y uno de buena calidad superior a 45, típicamente los motores se diseñan para utilizar índices de cetano de entre 40 y 55, debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición.

Al acrecentarse el valor de este parámetro, menor será el retraso de la ignición, la temperatura de combustión y la presión, con lo cual, mejorará la combustión en los cilindros y se reducirá la emisión de hidrocarburos que no han sido quemados durante la combustión. Una buena calidad significa que se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del combustible y se asocia con un número de cetano alto²⁰.

En la tabla 1.4 se muestra los valores promedios de las propiedades físico-

¹⁹ VILLALTA, J. (1986). *Motor diésel inyección y combustión*. España.

²⁰ CHANG DYZ, V. G. (1996). *Fuel properties and emissions of soybean oil esteres as diésel fuel*. Reino Unido.

químicas de varios tipos de aceite vegetal y diésel.

Tabla 1.4 Propiedades físicas de aceite vegetal y diésel

	Diesel	Soybean	Rapeseed	Peanut	Palm	Jatropha	WVO
Yield (L/Ha-Yr)	–	450-480	590-1200	850-1100	2800-6000	740-1590	–
Viscosity (cSt) ^a	2.6-3.6	33	37-42	40	39	34-37	36
Density (kg/m ³)	820-845	914-924	912-920	888-902	860-910	860-933	910-940
Calorific Value (MJ/kg)	43-46	36.9-39.6	36.8-39.7	39.5-39.8	36.5-40.1	37.8-42.1	39.2-39.6
Cetane Number	45-56	36-38	38-41	35-42	42-49	38-45	36-37
Reference	[49, 50, 51, 52, 53]	[49, 11, 54, 55, 56, 57, 53, 58]	[11, 54, 55, 58, 5, 56, 57, 53]	[11, 54, 55, 58, 59, 56, 57, 53]	[11, 30, 50, 55, 52, 56, 57]	[60, 61, 11, 12, 55, 56, 62, 57]	original data

(Fuente: Murayama et al. s.f.).

1.3.5 VISCOSIDAD.²¹

La viscosidad es una propiedad físico - química de carácter intensivo, que es característica de los fluidos y representa la resistencia entre las capas de un fluido para su libre desplazamiento.

La viscosidad es muy importante, ya que el combustible debe inyectarse a través de pequeños orificios, se mide en grados Engler (°E) aunque la medida reconocida internacionalmente es el centiStoke (cSt).

La viscosidad que realmente interesa no es la viscosidad a 20 °C, que no es nunca la de trabajo, sino la viscosidad que presenta el combustible a la temperatura a que trabajan los conductos de impulsión que suelen ser de 70 a 90 °C en los motores rápidos y de 40 a 60 °C en los lentos. Se deben tener en consideración dos importantes aspectos respecto a la viscosidad de un combustible.

²¹ VILLALTA, J. (1986). *Motor diésel inyección y combustión*. España.

- La viscosidad ha de ser suficientemente baja para que el combustible pueda fluir a la temperatura más fría a que debe ser almacenado y trasvasado.
- La viscosidad ha de ser lo suficientemente elevada para que el combustible tenga cualidades lubricantes, a fin de engrasar las piezas de la bomba de inyección, y evitar pérdidas por las toberas y la bomba.

Una viscosidad demasiado alta perjudica el funcionamiento y la vida de la bomba de inyección y del inyector, y modifica la presión de inyección facilitando la descomposición del combustible y la formación de lacas y gomas que empastan y pegan aros y obstruyen orificios.

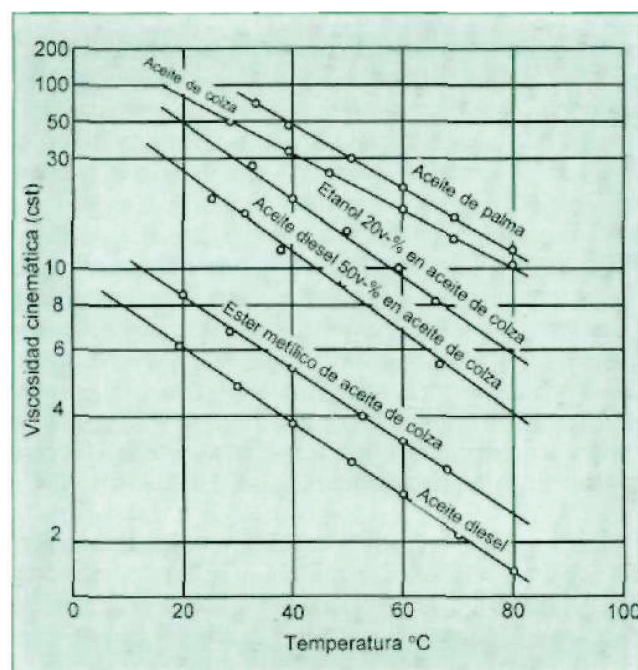


Figura 1.5 Viscosidad V_s temperatura para varios combustibles.

(Fuente: Murayama et al. s.f).²²

La viscosidad constituye el mayor obstáculo para el empleo de aceites vegetales como combustible de motores diésel, ya que su valor es más de 11 a 13 veces superior al que presenta el diésel. Esto acarrea serios inconvenientes en el sistema de inyección del combustible, así como en el mecanismo de ruptura y pulverización de las gotas líquidas (López Sastre et al., 1995).

²² MURAYAMA, T. (1994). *Japan society mechanical engineer interntional journal*. Japón

La viscosidad depende de la temperatura, de forma que cuanto menor resulta ésta, más viscoso es un combustible. La relación entre la viscosidad y la temperatura es importante en relación a la temperatura ambiente sobre todo en almacenamiento y en el arranque del motor, la figura 1.5 muestra como varia viscosidad en función de la temperatura para varios combustibles.

1.3.6 CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE.²³

Este método describe el procedimiento para reconocer la presencia de los compuestos corrosivos de azufre en derivados del petróleo.

La presencia de sustancias corrosivas hace que los equipos se deterioren con facilidad ocasionando grandes pérdidas económicas; por esta razón se utiliza la lámina de cobre debido a que este elemento es más susceptible de ser corroído por las sustancias derivadas del petróleo. Para el reporte de resultados se utiliza los estándares comparativos ASTM de corrosión de cobre.

1.3.7 PODER CALORÍFICO

Poder calorífico es la cantidad de energía que libera un combustible durante su combustión completa, por unidad de masa. Se mide en kJ/Kg o en Btu/lb. En el caso de los combustibles líquidos se mide en pruebas de Laboratorio normalizadas. También se calcula mediante fórmulas.

Lague et al. (1987) observaron que el poder calorífico de los aceites vegetales es función directa de su contenido en ácidos grasos, el valor que ostentan los aceites vegetales suele ser un 10% inferior al del diésel. Si se tiene en cuenta que el trabajo proporcionado por el motor es función del calor de combustión disponible, al usar aceites vegetales, el consumo se acrecentará (López Sastre et al., 1995).

Al aumentar el poder calorífico, menor será el consumo de combustible, mayor la

²³ MANCHENO, R. (1999). *Control de calidad de combustibles líquidos*. Riobamba.

potencia y viceversa (Fuentes, 1985; Camps, 1993; Casanova y Valdés, 1994; Gil Amores et al., 1995). Pero al ser reducido, si la relación estequiométrica fuese menor, se podría inyectar más cantidad por masa de aire, con lo cual quedaría compensado (Casanova y Valdés, 1994).

CAPÍTULO 2 MODIFICACIONES

En este estudio se realizaron las siguientes modificaciones al sistema de inyección del motor para luego evaluar el funcionamiento del mismo utilizando aceite vegetal puro y compararlo con el diésel como combustible:

- Modificaciones del sistema de inyección de combustible.
- Modificaciones al caudal de la bomba de inyección.
- Modificaciones en la presión de inyección.
- Modificaciones en el tiempo de inyección.

2.1 MODIFICACIONES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE.

El principal problema con el uso directo de aceites vegetales como combustible en los motores encendidos por compresión es su alta viscosidad. La viscosidad interfiere en la inyección de combustible, atomización y contribuye a una combustión incompleta, obstruye la tobera, genera depósitos excesivos en el motor y humo espeso²⁴. El problema de la alta viscosidad de los aceites vegetales puede ser controlada de varias maneras técnicas, tales como:

- Calentamiento del combustible.
- Transesterificación.
- Modificación el sistema de inyección.

Tomando en cuenta estas premisas se opta por calentar el combustible como se indica en la tabla 2.1, siendo necesario determinar cuál es la temperatura de calentamiento óptima.

²⁴ MURAYAMA, T. (1994). *Japan society mechanical engineer interntional journal*. Japón.

Tabla 2.1 Límites de viscosidad para combustibles Diésel.

VISCOSIDAD: GRADOS ENGLER A 38 ° C				
TIPO DE MOTOR	VELOCIDAD	Valores medios	Límite inferior	Límite superior
Motores rápidos	>1000rpm	1,33 – 2,87	1,1 – 1,47	1,47 – 7,35
Motores semirapidos	500 – 1000 rpm	1,51 – 2,75	1,1 – 1,65	2,75 – 7,35
Motores lentos	< 500 rpm	1,54 – 3,67	1,1 – 2,02	2,75 – 8,08

(Fuente: CEAC Motor Diésel²⁵)

La viscosidad de los aceites vegetales es alta, 11 a 13 veces los valores del diésel²⁶, lo que indica que sería difícil obtener buenas características de atomización con el equipo de inyección utilizado comúnmente. El calentamiento de casi 100 °C produce una viscosidad cercana a la del diésel, lo que muestra la posibilidad de reducir la viscosidad (Murayama, 1994).

Una alta viscosidad perjudica mucho el funcionamiento y la vida de la bomba de inyección y del inyector, facilitando la formación de lacas y gomas que empastan y pegan aros y obstruyen orificios.

Una baja viscosidad provoca dificultades en la estanqueidad de los pistones de inyección y en el auto engrase de estas partes del inyector.

Para determinar la viscosidad del aceite de palma y acondicionarla para que esta sea recomendable para un motor de combustión interna encendido por compresión, se relacionó con la temperatura de calentamiento.

²⁵ VILLALTA, J. (1986). *Motor diésel inyección y combustión*. España.

²⁶ López Sastre et al.(1995). *Los aceites vegetales como combustibles*. España.

2.1.1 TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO.

Se determinó la temperatura de calentamiento valiéndonos de material bibliográfico en estudios anteriores y la tabla de valores medios y límites de viscosidad para combustibles en motores de combustión interna encendidos por compresión, de acuerdo a la norma ASTM.

Estudios realizados por Knothe y Tickell²⁷ figura 2.1 en aceites de palma y de maíz mostraron un comportamiento de viscosidad descendente en función del aumento de temperatura, también se puede observar una pequeña diferencia entre ambos aceites.

Algunas de las mediciones obtenidas se compararon con la hechas por algunos autores, resultando muy parecidas: Nouredini (54.3 cSt* a 25 °C), Knothe (32.6 cSt a 38 °C.) y Tickell (6.5 cSt a 110 °C), para el aceite de palma, y Knothe (34.9 cSt a 38 °C), para el aceite de maíz. Fig 2.1.

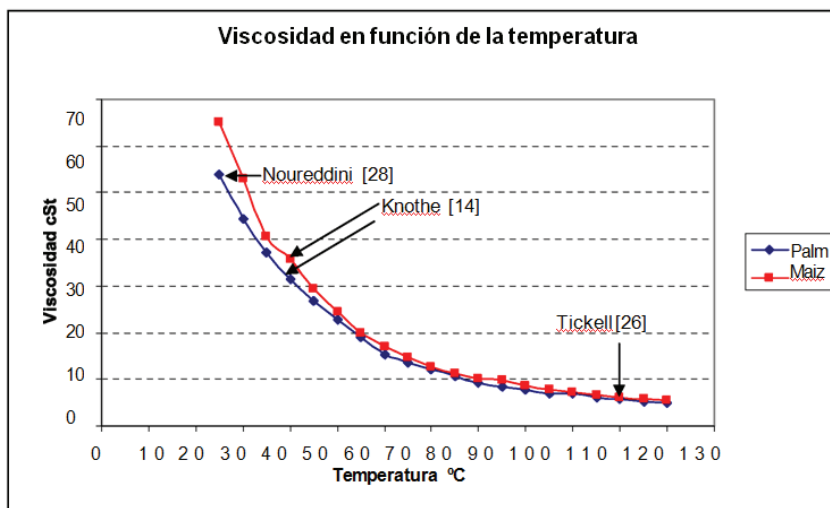


Figura 2.1 Estudios de la viscosidad V_s temperatura para aceites vegetales

(Fuente: Montoya, 2009)

²⁷ MONTOYA, O. (2009). *Prototipo de generador con maquina diésel alimentada con aceite vegetal*. Mexico

De esta forma se determinó que el rango de trabajo para realizar los experimentos sería de 80° C a 110° C, esto es porque después de 80°C la viscosidad está por debajo de los 10 cSt, viscosidad a la cual es seguro alimentar al motor. Se eligió una temperatura de 110° C como límite superior, porque después de esta temperatura la viscosidad cambia muy poco y ya no es factible calentar mas el aceite por el gasto de energía que implica elevar mas la temperatura.

En la tabla 2.2 se muestran los valores medios y limites de viscosidad para combustibles para motores rápidos, siendo también una referencia para determinar la temperatura de calentamiento.

2.1.2 DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA.²⁸

Se determinó la viscosidad cinemática del combustible de prueba a 25° C ,80° C y 100° C, para lo cual se hizo uso de los laboratorios de Petrocomercial – Riobamba, el método utilizado es el siguiente:

2.1.2.1 Método.

ASTM D-445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids.

INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la Viscosidad Cinemática en Líquidos Transparentes y Opacos.

2.1.2.2 Objetivo.

Determinar la viscosidad cinemática del diésel y de aceite vegetal de palma.

²⁸ NTE, I. (0927:84). *Productos de petróleo: Deteminación de la viscosidad cinemática en líquidos transparentes opacos*. Ecuador.

2.1.2.3 Resumen.

El tiempo es medido en segundos para un volumen de líquido que fluye bajo la gravedad a través de un viscosímetro de vidrio capilar calibrado y a una temperatura controlada.

La viscosidad cinemática es el producto del tiempo medido de flujo por la calibración constante del viscosímetro.

2.1.2.4 Fotografías representativas.

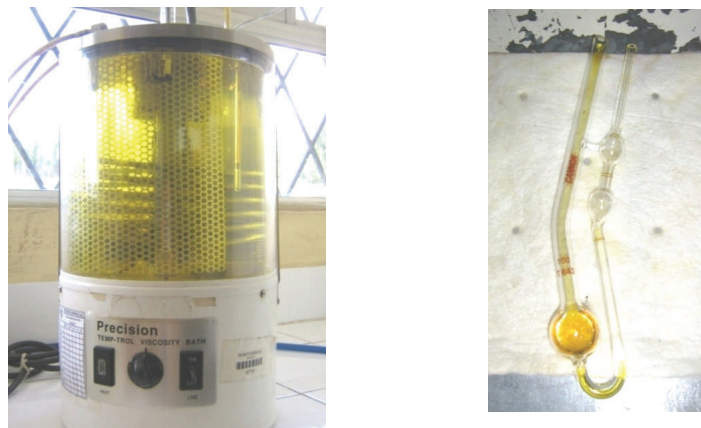


Figura 2.2 Viscosímetro de vidrio capilar.

(Fuente: Petrocomercial – Riobamba)

2.1.2.5 Procedimiento del ensayo.

- Mantener el baño a la temperatura deseada dentro de los rangos permitidos.
- Se selecciona el viscosímetro limpio y seco que tenga un rango que cubra la viscosidad estimada, el tiempo de flujo no debe ser menor a 200 segundos.
- Permitir que el viscosímetro cargado con la muestra permanezca en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura del ensayo.
- Se realiza una succión para ajustar el nivel de cabeza de la muestra a la posición en el capilar del instrumento aproximadamente 5mm por encima de la primera marca del tiempo.

- Con el flujo de muestra libremente se mide en segundos el tiempo requerido para que menisco pase desde la primera marca hasta la segunda marca.

Una vez realizado los procedimientos descritos y utilizando los métodos ASTM D-445 ó INEN NTE 0927:84 se obtuvieron los siguientes datos experimentales indicados en la tabla 2.3.

De esta forma se determinó que la temperatura adecuada de calentamiento es de 80°C al estar dentro del rango de viscosidad aceptable para motores rápidos (>1000rpm).

Tabla 2.2 Tabla de la viscosidad de todos los combustibles de prueba

COMBUSTIBLE	TEMP °C	TIEMP. EXP. (seg)	CONS. VISCOC.	VISCOSIDAD (Cst)
DIÉSEL	30	271	0,01351	3,661
ACEITE DE PIÑON	30	5900	0,01351	79,71
ACEITE DE PIÑON	80	510	0,01351	6,971
ACEITE DE PIÑON	100	330	0,01351	4,451

(Elaboración: Propia)

Las características físicas químicas de los combustibles utilizados fueron estudiadas y se detallan en la tabla 3.1 y tabla 3.2.

Tabla 2.1 Especificaciones del diésel Premium

ESPECIFICACIONES DEL DIÉSEL PREMIUM			
Detalle	Unidad	Norma	Valor
Destilación	°C	AST M D-86 (INE N 926)	350
Punto de inflamación	°C	ASTM D-93 (INEN 1047)	88
Corrosión lámina cobre	-	ASTM D-130 (INEN 927)	1a
Viscosidad a 25 °C	Cst	ASTM D-445 (INEN 810)	3,66
Índice de cetano	-	ASTM D-976 (INE N 1495)	50,5

(Elaboración: Propia)

2.1.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE ACEITE.

Las modificaciones en este sistema incluyeron:

- Tanque de combustible para el aceite vegetal, y un tanque para el diésel.
- Líneas por donde el combustible pudiera fluir hasta el lugar deseado.
- Un dispositivo de calentamiento.
- Una válvula conmutadora para hacer el cambio de diésel a aceite. Fig. 2.3

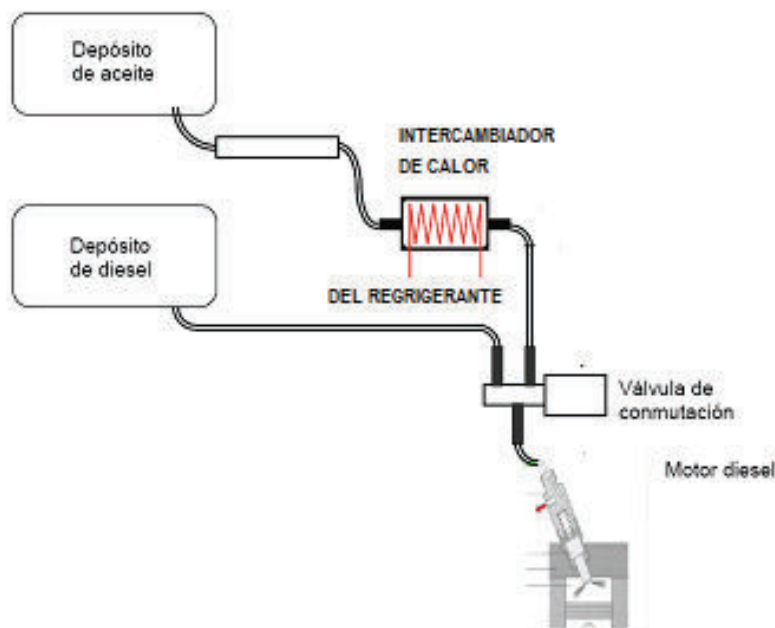


Figura 2.3 Sistema de alimentación propuesto

(Elaboración: Propia)

La figura 2.4 muestra el dispositivo de calentamiento utilizado el cual es un intercambiador de calor de tubos concéntricos, similar al usado en la Tesis de la EPN del Ing. Alex Pillajo, el cual se encuentra instalado en el vehículo de prueba sin embargo antes de utilizarlo hay que adecuarlo para ser utilizado con el combustible propuesto.

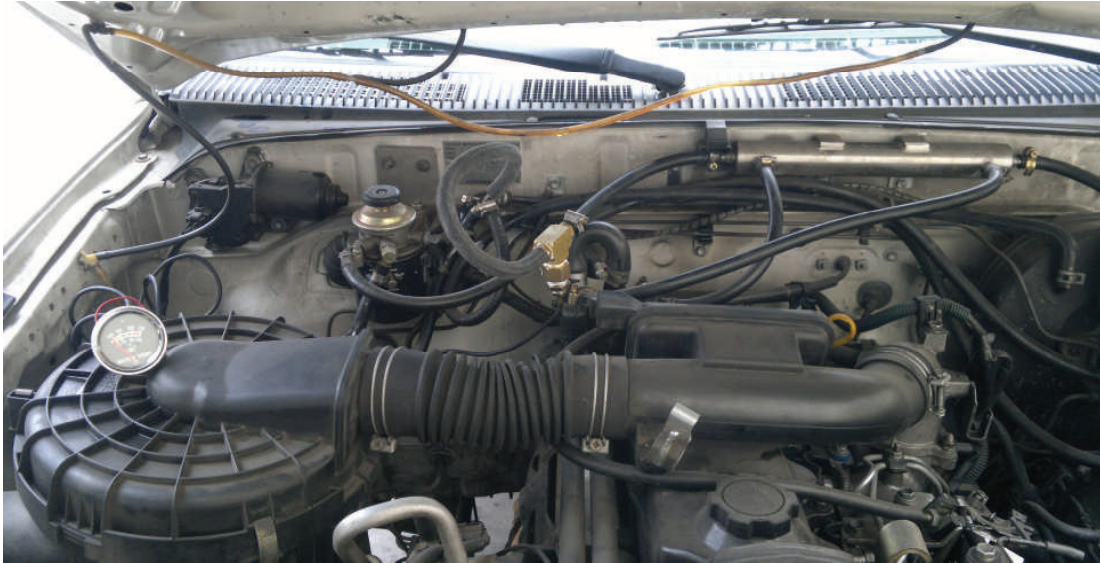


Figura 2.4 Intercambiador de calor de tubos concéntricos de flujo paralelo
(Elaboración: Propia)

Para el sistema utilizado se hicieron las siguientes consideraciones:

2.1.4 CONSIDERACIONES DE MODIFICACIONES

- No deben hacerse modificaciones al motor.
- El sistema constará de tres partes principales: tanque de combustible, intercambiador de calor, válvula de conmutación.
- Estos componentes deben ser fáciles de conseguir, para poder sustituirlos rápidamente en caso de avería.
- Los componentes no deben contener elementos en los cuales, el aceite causa efectos adversos, por ejemplo el cobre, el cual puede ser corroído
- La alimentación de aceite debe hacerse mediante la acción de la fuerza de gravedad, esto es, con el tanque de combustible en un nivel mas alto que los demás componentes, siguiendo este orden: tanque de combustible, calentador y válvula de conmutación.
- Debido a que sólo se usará aceite limpio, las precauciones en el filtrado de éste serán las mínimas necesarias.
- La válvula de conmutación debe ser de accionamiento manual.

- El motor no puede ser alimentado con aceite vegetal cuando está frío, para asegurar que esto no suceda, se realizó el cambio de diésel a aceite hasta que el motor haya alcanzado su temperatura normal de operación.
- Debido a la alta temperatura del refrigerante del motor, se decidió por usar intercambiador de calor, el cual usará la energía calorífica procedente del sistema de refrigeración del motor para precalentar el aceite.
- El sistema debe ser fácilmente desmontable en caso de requerirse.

El sistema de alimentación y calentamiento utilizado se muestra en la figura 2.5.

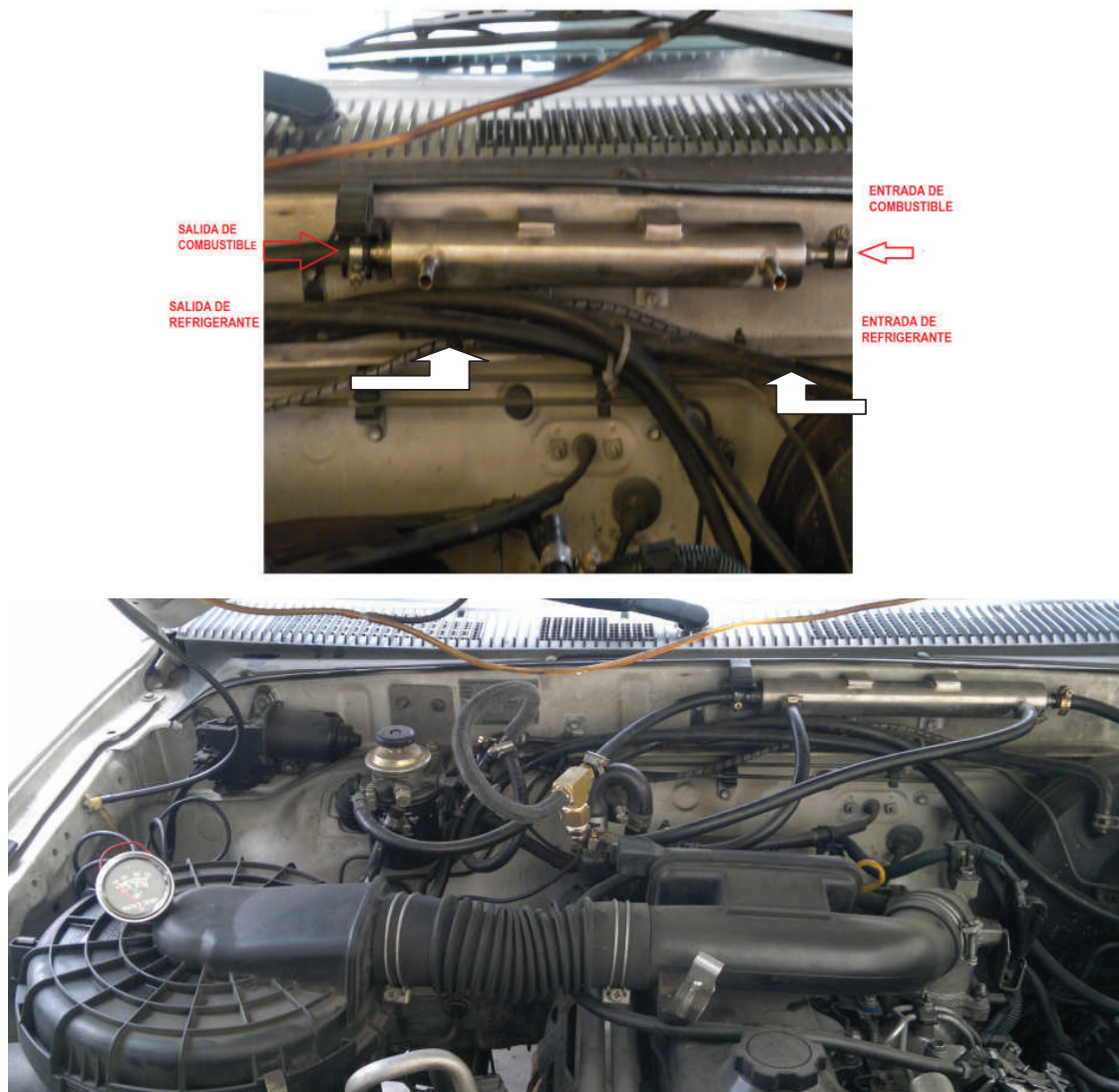




Figura 2.5 Intercambiador de calor instalado en vehículo

(Elaboración: Propia)

2.1.5 EL PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN:

- Iniciar la marcha del motor con diésel convencional, y que funcione con éste hasta que el diésel esté lo suficientemente caliente para poder hacer el cambio de combustible. Esto se logró en 35 minutos de funcionamiento.
- Una vez alcanzada la temperatura normal de funcionamiento del motor a la mitad del indicador interno del tablero del vehículo, activar la válvula de conmutación para que ingrese el aceite vegetal a través del intercambiador de calor de flujo paralelo
- Verificar el indicador analógico de temperatura a 80 °C aproximadamente.
- Antes de apagar el motor el combustible debe ser restaurado a diésel, para evitar que quede aceite vegetal en las líneas de combustible cuando éste se enfríe, ya que el motor diésel no puede ser alimentado con aceite frío, de ser así, existe el riesgo de causar daños al motor. El aceite no sería inyectado en los cilindros tan efectivamente como el diésel, el inyector no proporcionaría un fino atomizado con este aceite viscoso, las gotas más grandes de éste no se quemarían apropiadamente, lo que hará que se formen depósitos de carbón en el cilindro y los inyectores, causando que el motor funcione pobremente.

2.2 MODIFICACIONES EN LA BOMBA DE INYECCIÓN.

El motor diésel para su funcionamiento necesita una alimentación de combustible rigurosamente dosificada en combustible y que la inyección se realice en el momento preciso, en un tiempo muy corto al final de la carrera de compresión, durante la cual, la bomba de inyección impulsa el combustible y lo inyecta en cantidad exacta en la cámara de combustión por medio del inyector.

Para ello el principal componente del sistema de inyección es la bomba de inyección figura 2.6 la cual es la encargada de enviar el combustible hasta cada inyector en el momento oportuno y a la presión conveniente, en una cantidad determinada para cada condición de funcionamiento del motor.

La bomba de inyección distribuye el combustible a los diferentes inyectores respetando ciertas condiciones:

- a. El volumen de combustible inyectado debe ser el mismo para cada cilindro.
- b. La inyección debe iniciarse en el instante preciso, es decir, al final de la compresión un poco antes de que el pistón haya alcanzado el p.m.s.
- c. La inyección en cada cilindro debe realizarse en un orden determinado, al igual que ocurre en el motor de explosión con el orden de encendido de cada motor.

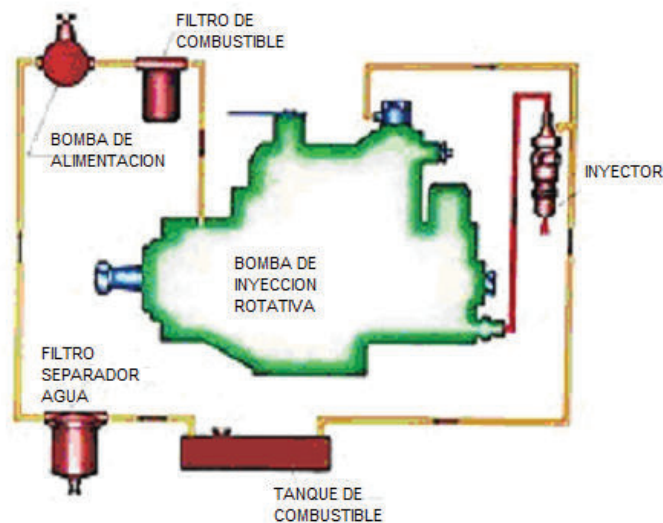




Figura 2.6 Conjunto de inyección o sistema de inyección

(Fuente: Bosch, 2002)

2.2.1 DATOS TÉCNICOS DE LA BOMBA DE INYECCIÓN.

Se dispone de los datos del fabricante para cada una de las pruebas a realizar sin las cuales resulta imposible constatar los defectos, ajustar o calibrar una bomba. En algunos casos como es en el de las bombas de inyección tipo VE parte de estos datos están grabados en la placa de identificación, junto al modelo de la

bomba como se indica en la figura 2.7, por lo que a continuación daremos el significado de cada uno de estos números de serie.

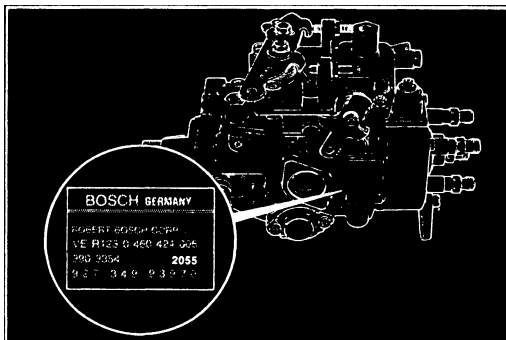


Figura 2.7 Ubicación de la placa de identificación de la bomba

(Fuente: Bosch, 2002)

Números de Tipo Bosch

NP	-	VE	4	/	10	F	2050	A	R	ND	1986
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)			

- (1) Fabricado por Diésel Kiki
- (2) Tipo de bomba de inyección VE
- (3) Número de cilindros (igual al número de cilindros del motor)
- (4) Diámetro del émbolo (mm)
- (5) E: Regulador controlado electrónicamente F: Regulador mecánico
- (6) Velocidad máxima del regulador con carga máxima
- (7) Símbolo del diseño
- (8) Dirección de giro (visto desde el lado de la transmisión)
- R: Giro en sentido horario L: Giro en sentido anti horario
- (9) Número de serie de producción

2.2.2 EQUIPO UTILIZADO EN CALIBRACIÓN DE LA BOMBA

Se utilizó un banco de pruebas Marca TAIAN NANTAI para bombas de inyección, se realizaron las siguientes comprobaciones:

1. Entrega máxima de combustible.
2. Presión de transferencia o elevación de la bomba.
3. Operación del avance.
4. Entrega en marcha en vacío alta.
5. Entrega en marcha en vacío baja.
6. Sincronización interna de la bomba.
7. Operación del regulador.
8. Fugas de combustible o aceite.
9. Arranque de bombas reparadas o nuevas.

2.2.3 PROCESO DE CALIBRACIÓN

- Conectar el tubo de alimentación de combustible con la entrada de la bomba y conecte el tubo de retorno al reservorio.
- Comenzar a suministrar combustible a una presión de alimentación para llenar la bomba. Trabaje la bomba a 100 rpm, cuando salga el aceite de pruebas libre de burbujas de aire de las purgas, vuelva a apretar la válvula de purga.
- Aflojar las conexiones en el lado del inyector, las cañerías de alta presión y, si las hay en la máquina de pruebas, abra las válvulas de purga en los inyectores.
- Trabajar la bomba a 100 rpm, cuando fluya el aceite de pruebas libre de aire de todas las cañerías de alta presión, vuelva a apretar las conexiones o cierre las válvulas de purga.

- Revisar la bomba después de cebarla para ver si tiene fugas de combustible en todas las superficies de las juntas, las conexiones y los sellos de aceite. Las bombas de inyección no deben tener fugas, cuando estén trabajando ni cuando estén paradas.

2.2.4 TABLAS DE CALIBRACIÓN

Para el caso de este tipo de bomba escogeremos la tabla de calibración, detallada en tabla 2.5.

조 정 데 이 터 INJ.PUMP CALIBRATION DATA			Ass'y No : 2210068740	
Drawing No. : 95 - 02 - 02			Eng. Model :	
General Ass'y No : NP-VE4/10F2050RND186			A kind of car : 1 Ton	
Pre-Stroke			Company : TOYOTA	
mm ± mm			Date : 1998 - 02 - 10	
Test instructions and test equipment				
1. SETTING	PUMPSPEED	SETTING	Charge Air pressure (mmHg)	Difference in delivery (cc)
1.1 Timing device travel	1200 RPM	2.9 ± 0.2 mm		
1.2 Supply pump pressure	1200 RPM	3.9 ± 0.3 Kg/cm ²		
1.3 Full load delivery	1200 RPM	50.0 ± 1.0cc/1000st		2.5
1.4 Idle speed regulation	370 RPM	9.0 ± 2.0cc/1000st		2.5
1.5 Start delivery	100 RPM	70 - 90 cc/1000st		
1.6 Full speed regulation	2325 RPM	23.0 ± 2.0cc/1000st		
2. TEST SPECIFICATIONS				
2.1 Timing device	RPM	600 ± 100	1000	2000
	mm	0.5 ± 0.4	2.9 ± 0.2	6.8 ± 0.4
2.2 Supply pump pressure	RPM	500	1200	2000
	Kg/cm ²	1.9 ± 0.3	3.9 ± 0.3	5.9 ± 0.3
Overflow delivery	RPM = 1200	Q = cc/10st		
2.3 FUEL DELIVERY	PUMP SPEED (RPM)	INJ. QUANTITY (cc/1000st)	CHARGE AIR PRESS(mmHg)	3. DIMENSIONS
END STOP	500	46.0 ± 2.0		Desin for assembly and adjustment
	1200	50.0 ± 1.0		K 3.3 ± 0.1 mm
	2000	46.0 ± 2.0		KF 5.8 ± 0.1 mm
	2325	23.0 ± 2.0		MS 1.0 ± 0.1 mm
4. LEVER ANGLE				
SWITCH OFF	370	M/V OFF Q = 0		α 20 ± 4 deg.
IDLE STOP	600	Below 5.0		A mm
POTENTIO METER SET	PUMP SPEED (RPM)	INJ. QUANTITY (cc/1000st)	OUTPUT VOLTAGE (V)	β 38 ± 5 deg.
				B mm
				γ ± deg.
				C mm
5. OBSERVATIONS				
2.4 SOLENOID	Max. cut-in voltage : 8 V			ATDC 7°
	Test voltage : 12 V			

Tabla 2.3 Tabla de calibración de bomba de inyección

(Fuente: Nippondenso, 2011)

A partir de esta tabla que corresponde a la codificación de la bomba de inyección NP - VE4 /10 F2050RND 186 se modifica el caudal a 4cc en 100 carreras, 5cc en 100 carreras y 6cc en 100 carreras, en cada modificación a la bomba de inyección

de combustible se verifica que las calibraciones adicionales sean las mismas modificando exclusivamente el caudal.

2.3 MODIFICACIONES EN LA PRESIÓN DE INYECCIÓN.

Para el estudio se ha seleccionado el siguiente plan de ensayos, en el cual hay tres presiones de inyección correspondientes a 140 bar, 160 bar y 180 bar para diésel, aceite vegetal 25°C y aceite vegetal 80°C conforme se detalla en la tabla 2.6.

Tabla 2.4 Modificaciones en la presión de inyectores..

MODIFICACIONES EN PRESIÓN DE INYECTORES										
		PRESION DE INYECCTORES								
		140 BAR			160 BAR			180BAR		
COMBUSTIBLE	TEMP	4 CC EN 100 CARRERAS	5 CC EN 100 CARRERAS	6 CC EN 100 CARRERAS	4 CC EN 100 CARRERAS	5 CC EN 100 CARRERAS	6 CC EN 100 CARRERAS	4 CC EN 100 CARRERAS	5 CC EN 100 CARRERAS	6 CC EN 100 CARRERAS
DIÉSEL	[25°C]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ACEITE VEGETAL	[25°C]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ACEITE VEGETAL	[80°C]	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

(Elaboración: Propia)

Para realizar la calibración de los inyectores se siguió el siguiente procedimiento:

2.3.1 CALIBRACIÓN DE PRESIÓN DE INYECCIÓN:

2.3.1.1 Limpieza del motor.

Se limpia el motor con brocha, desengrasante, gasolina y con el aire comprimido, para poder ver bien y poder encontrar posibles puntos de fuga.

2.3.1.2 Desmontaje de los inyectores.

Con una llave para inyectores número 27 se afloja los inyectores y se desmontan del motor fig. 2.8, se realiza esta operación con el motor en frío ya que en estas condiciones el cabezote es más resistente, aprovechamos para comprobar el estado de las bujías de precalentamiento.



Figura 2.8 Inyectores desmontados

(Elaboración: Propia)

2.3.1.3 Comprobación del tarado inicial de los inyectores.

Comprobamos la presión de apertura con la bomba manual para calibrar inyectores figura 2.9, y verificamos que es de 160 bar. Los inyectores tarados demasiado bajos hacen que el chorro gotee sobre las bujías de precalentamiento que se podrían romper.



Figura 2.9 Comprobación de Inyectores

(Elaboración: Propia)

2.3.1.4 Desarmado y limpieza del cuerpo de los inyectores.

Lo realizamos con una llave de 27mm, una llave inglesa, el compresor y varios recipientes de diésel. Una vez desarmados tomamos las precauciones necesarias para evitar torcer o romper las piezas frágiles. Al momento de desarmar evitamos sacar la válvula de aguja y verificamos las partes y piezas en la tabla 2.7 y figura 2.10

Tabla 2.5 Detalle despiece de inyector.

1: Válvula de aguja	2: Canal de afluencia
3: Travesaño	4: Taqué
5: Tuerca	6: Muelle
7: Porta-tobera	8 y 10: Retornos
9: Entrada de combustible	11: Arandelas de ajuste
12 : Garganta circular	13 : Cámara de presión

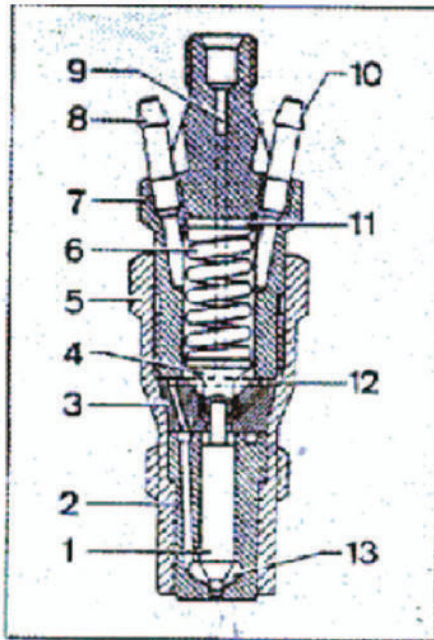


Figura 2.10 Despiece de Inyector

(Elaboración: Propia)

2.3.1.5 Taraje o calibración de los inyectores.

Añadimos 20 bar, ver figura 2.11, al taraje inicial (160 bar), añadiendo arandelas de ajuste. El inyector debería entonces pulverizar una nube fina, emitiendo un sonido agudo y no gotear.

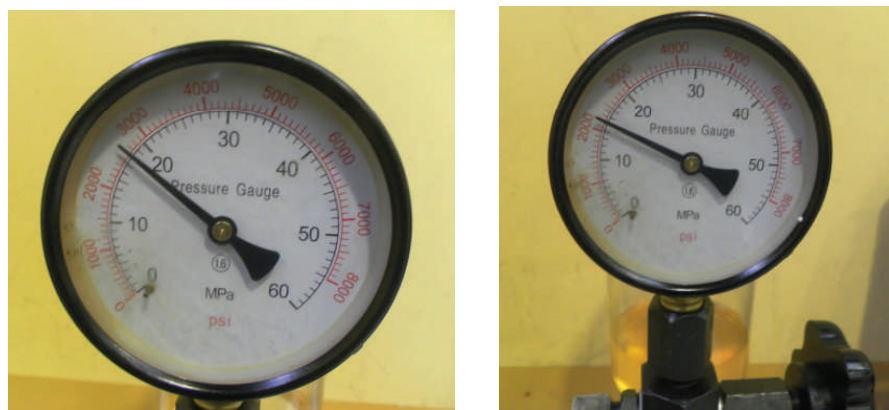


Figura 2.11 Calibración de inyectores 160 y 180 bar

(Elaboración: Propia)

2.3.1.6 Montaje de los inyectores.

Se sustituyo las juntas de cobre, las arandelas cortafuegos, los tubos de retorno y el tapón obturador. Volver a montar el inyector y con una llave de boquilla para inyectores 27 mm, atornillar el inyector sobre la culata con la llave dinamométrica, según las indicaciones de la ficha técnica.

Después de montarlo, purgar los tubos de alta presión, arrancar, en caso de que haya fugas, comprueba los retornos y mira que el inyector esté bien apretado.

2.4 MODIFICACIONES EN EL TIEMPO DE INYECCIÓN.

El más bajo número de cetano del aceite (38), con respecto al diésel (50), también tiene el efecto de incrementar el retraso de ignición. El número o índice de cetano guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante. Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso de la ignición y mejor es la calidad de combustión. Por el contrario, aquellos carburantes con un bajo número de cetano requieren mayor tiempo para que ocurra la ignición.

El retraso de ignición se define como el tiempo que transcurre desde que comienza la inyección de combustible, hasta el momento en que comienza su combustión. Se desea que esta etapa sea muy corta, ya que si es larga, puede causar una gran pérdida de energía calorífica y eficiencia del motor, por lo que se debe evitar. Este comportamiento se acentúa cuando el motor esta frío o con bajas cargas.

CAPÍTULO 3 PROTOCOLO DE PRUEBAS

En este capítulo se describe y presenta la metodología general de pruebas, las condiciones y consideraciones para los ensayos, detalla los equipos utilizados y la descripción de los procedimientos realizados.

3.1 METODOLOGÍA GENERAL

La metodología que se lleva a cabo en el presente estudio considera la ejecución de pruebas estáticas y dinámicas; utilizando diésel común y aceite vegetal como combustible, con el propósito de realizar un análisis del desempeño mecánico y medición de la opacidad de un motor encendido por compresión de un vehículo de características representativas del parque automotor del Distrito Metropolitano de Quito.

La presente investigación se compone de cuatro etapas; tres de estas se detallan a continuación, y una última se desarrolla en el próximo capítulo.

- Etapa 1. Condiciones y consideraciones para los ensayos.
En la que se detallan las condiciones ambientales, de estabilización del vehículo, combustible de prueba.
- Etapa 2. Desarrollo de los ensayos.
Describe las pruebas físico – químicas al combustible utilizado y los ensayos estáticos que permitan establecer la potencia y el torque, opacidad, caudal y presión de inyección de combustible.
- Etapa 3. Descripción de los equipos utilizados.
Detalla las especificaciones de cada uno de los equipos utilizados para los ensayos y modificaciones realizadas.
- Etapa 4. Resultados y análisis de resultados.

3.2 CONDICIONES Y CONSIDERACIONES PARA LOS ENSAYOS

Para la realización de la pruebas se toman en cuenta ciertos aspectos que permiten conseguir la repetitividad de los resultados. A continuación se detallan los más importantes.

3.2.1 CONDICIONES AMBIENTALES

La recolección de datos se realiza en condiciones ambientales de un día promedio en la ciudad de Quito; es decir:

- Temperatura ambiental entre 17 y 25 °C.
- Humedad relativa entre el 50 y 80%.
- Total ausencia de lluvia.

3.2.2 CONDICIONES DE ESTABILIZACIÓN DEL VEHÍCULO

La forma en la que se estabiliza un vehículo incide en gran medida en la repetitividad de los resultados obtenidos. Por lo tanto, se toman en cuenta los siguientes argumentos al momento de estabilizar el vehículo:

- Acelerar el vehículo suavemente después de arrancar el motor, y cuando éste se haya detenido completamente por cualquier motivo.
- Realizar los cambios de marcha con la secuencia correcta para evitar que el vehículo pierda torque.

3.2.3 CRONOGRAMA DE REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS

Las pruebas se efectúan en las horas de la mañana desde las 11h00 hasta las 13h00, y en la tarde desde las 14h00 hasta las 16h00, en los meses de noviembre, diciembre 2014 y enero 2015, para mantener una uniformidad en las condiciones de prueba.

3.2.4 COMBUSTIBLE DE PRUEBA

El diésel convencional que se utiliza en las pruebas se denomina premium; es un diésel con 500 *p.p.m.* de azufre, y es suministrado en el país por las estaciones de servicio del Distrito Metropolitano de Quito, El combustible alternativo fue aceite de piñón, producido en Portoviejo-Manabí, por la Estación Experimental del INIAP (INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS) desde el año 2012.

FICHA DEL COMBUSTIBLE ALTERNATIVO

	Recepción			Extracción			Filtrado		
	%Humedad	Índice de Acidez (mg KOH/g Aceite)	%Grasa	Índice de Acidez (mg KOH/g Aceite)	Fósforo(ppm)	Humedad(ppm)	Índice de Acidez (mg KOH/g Aceite)	Fósforo(ppm)	Humedad(ppm)
Promedio	10,47	1,88	38.63	6,06	2150,96	2720,60	6,80	1,88	1299,97

3.3 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS

La realización de las pruebas tiene por objeto determinar las características físico-químicas del combustible de prueba, el desempeño mecánico y medición de la opacidad del motor de un vehículo representativo del parque automotor de la ciudad de Quito, funcionando con diésel convencional y aceite de palma.

3.3.1 PRUEBAS FÍSICO – QUÍMICAS

A continuación se detallan los procedimientos para obtener el punto de inflamación, densidad API y gravedad específica, índice de cetano, corrosión a la lámina de cobre.

3.3.1.1 Punto de Inflamación.

Los métodos ASTM e INEN utilizados para determinar el punto de inflamación son:

ASTM D-93: Standard Test Methods for Flash-Point by Pensky Martens Closed Cup Tester.

INEN NTE 1047:84 Productos de Petróleo Punto de Inflamación en copa cerrada Método TAG.

3.3.1.1.1 Resumen.

Este ensayo consiste en calentar una muestra del producto en un recipiente cerrado a una velocidad determinada hasta que se haya vaporizado una cantidad suficiente de elementos volátiles susceptibles de por una llama que se desplaza por encima del recipiente, tan pronto se produce una ligera explosión, se anota la temperatura que corresponde al punto de inflamación o flash point del producto.

3.3.1.1.2 Equipos y materiales.

- **Fuente de calor**
- **Equipo Pensky-Martens:** El equipo mostrado en la figura 3.1 es el utilizado en este ensayo.



Figura 3.1 Equipo Pensky-Martens.

Fuente: Petrocomercial – Riobamba.

- **Termómetro:** Para medir la temperatura del baño calentador se podrá usar cualquier termómetro, cuya escala cubra el intervalo de temperatura requerido ver (tabla 3.3), en esta prueba se usa el termómetro que va es para temperaturas mayores a 49°C.

Tabla 3.1 Especificaciones del termómetro.

ESPECIFICACIÓN	TEMPERATURA		
	* ASTM E 1.	menor a 4 °C.	entre 4 °C. y 49 °C.
	A	B	C
* ASTM E 1. Indica las especificaciones completas de estos termómetros			

Fuente: Petrocomercial – Riobamba

3.3.1.1.3 Procedimiento del ensayo.

- Colocar el equipo sobre una mesa firme y nivelada y protegerlo de posibles corrientes de aire.
- Usando una probeta y evitando que se mojen las paredes de la copa más arriba de la línea que indica el nivel final, medir 50 cm³ +/- 0.5 cm³ de la muestra que este a una temperatura al menos 11 °C bajo el punto de inflamación esperado.
- Quitar las burbujas de aire de la superficie de la muestra; limpiar la superficie interior de la tapa con un paño limpio y colocar la tapa con su termómetro en su lugar.
- Encender la llama, ajustándole conforme a la dimensión de la pequeña esfera situada encima de la tapa, cuya llama debe estar entre los 3 a 4 mm de altura.
- Operar el mecanismo colocado sobre la tapa de la copa, de tal manera que la llama de encendido se introduzca en el espacio de la copa lleno de vapor, sacándola inmediatamente después. El tiempo total de esta operación no debe ser mayor de 1 segundo.

- Se calienta la muestra y por cada 1 °C se pasa el mecanismo de llama sobre la copa y en el momento en que se produce la primera explosión, se toma la temperatura, la cual corresponde al punto de inflamación no se debe confundir esta llama con un halo azulado que a veces rodea la llama de encendido durante las aplicaciones que proceden inmediatamente a la inflamación verdadera.
- Repetir el ensayo de punto de inflamación para el aceite vegetal
- Para cada ensayo o para su repetición, tomar una nueva porción de muestra.

3.3.1.1.4 Cálculos.

Dependiendo de la situación geográfica en que se encuentra el Laboratorio se procede a realizar la corrección de temperatura del punto de inflamación del combustible utilizando, haciendo uso de la ecuación:

$$Plc=Pl+0,033(760-p)$$

donde:

Plc = Punto de infamación corregido, en °C

PI = Punto de inflamación observado, en °C

p = Presión atmosférica mmHg.

0.033 = Es un factor de corrección.

3.3.1.2 Densidad API y gravedad específica.

Los métodos ASTM e INEN utilizados para determinar Densidad API y gravedad específica son:

ASTM D-1298:99 Standard Test method for Density, Specific Gravity, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method.

INEN NTE 2319:01 Productos derivados de Petróleo: Determinación de la Densidad API.

3.3.1.2.1 Resumen.

Los resultados se determinan a 60 °F o se convierten a esta temperatura por medio de tablas de corrección ASTM, la gravedad específica es la relación entre el peso de un volumen dado del producto y el peso de un volumen igual de agua, teniendo como temperatura de referencia a 60 °F.

3.3.1.2.2 Equipo y materiales.

- **Termo hidrómetro de vidrio:** Graduados en grados API mostrado en la figura 3-2 y temperatura de acuerdo a los requisitos ASTM °C o °F según la tabla 3.4., para esta prueba se usa dos termo hidrómetros: uno que va desde 19 a 31 API y de 0 a 150 °F y otro para el diésel que va desde 29 a 41 API y 0 a 150 °F.



Figura 3.2 Termohidrómetro.

Fuente: Petrocomercial – Riobamba.

Tabla 3.2. Especificaciones de los hidrómetros.

<i>ESCALA °API</i>	<i>TIPO DE HIDROMETRO</i>
1 a 11	1 H
9 a 21	2 H
19 a 31	3 H
29 a 41	4 H
39 a 51	5 H
49 a 61	6 H
59 a 71	7 H
69 a 81	8 H
79 a 91	9 H
89 a 101	10 H
Temperatura estándar	15.6°C (60°F)
Subdivisiones de:	0.1°API
Líneas intermedias:	0.5°API
Líneas numeradas:	1.0°API
Longitud total:	323 a 335 mm
Longitud de escala nominal:	125 a 145 mm
Diámetro del cuerpo:	23 a 27 mm
Diámetro del vástago:	4.0 mm

- **Probeta:** Cuyo diámetro interno sea mayor por lo menos 25 mm que el diámetro exterior del termo hidrómetro; su altura debe ser tal, que permita que el termo hidrómetro ubicado a su máxima profundidad flote por lo menos a 25 mm del fondo, para esta prueba se utiliza una probeta de 500 ml detallada en la figura 3.3.

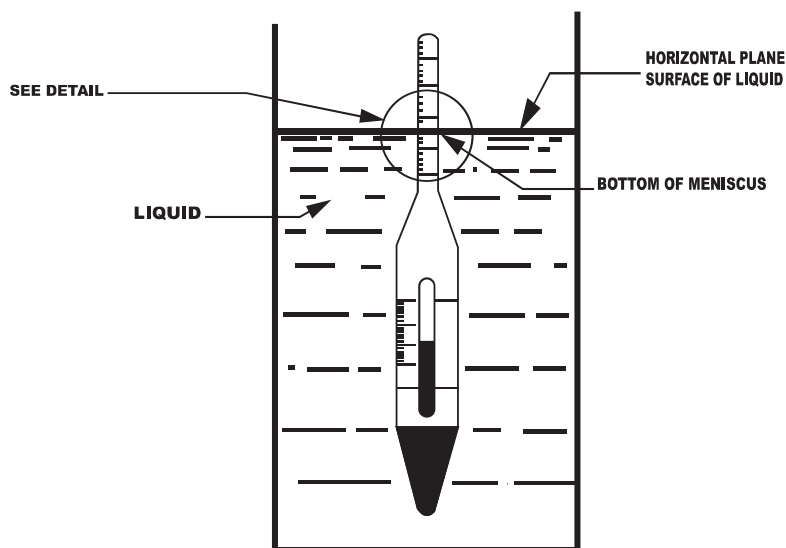


Figura 3.3 Colocación correcta del termohidrómetro en la probeta.

Fuente: Petrocomercial – Riobamba

3.3.1.2.3 Procedimiento del ensayo.

- Se vierte la muestra dentro de la probeta limpia y seca, sin salpicar, de modo que se evite la formación de burbujas de aire y para reducir al mínimo la evaporación y pérdida de los componentes más ligeros de la muestra volátil. Remover las burbujas de aire con un pedazo de papel filtro limpio antes de introducir el termo hidrómetro. La probeta que contiene la muestra debe estar en correcta posición vertical y en un lugar libre de corrientes de aire.
- Se sumerge el termo hidrómetro suavemente dentro del combustible respectivamente, dejarlo libre sin roce con las paredes del cilindro, manteniéndolo seco el resto del vástago sobre el nivel que se encuentra inmerso en el líquido conforme figura 3.4 El tiempo necesario hasta que el termohidrómetro quede inmóvil es el seleccionado según la tabla 3.5.

Tabla 3.3. Tiempo de inmersión del termohidrómetro.

<i>PETROLEO CRUDO O DERIVADOS</i>	<i>TIEMPO MINIMO DE INMERSION (MINUTOS)</i>
Gasolina, naftas	5
Diesel, destiladas	5
Petróleo crudo de 16 °API o más	5
Petróleo crudo entre 13 y 16 °API	10
Petróleo crudo menor que 13 °API	15
Aceites combustibles de viscosidad mayor de 100 SSU a 38 °C y menor que 170 SSU a 100°C.	15
Aceites combustibles residuales de viscosidad de 170 SSU a 100°C o más viscosos.	30

Fuente: Petrocomercial – Riobamba¹⁹

- Cuando el termohidrómetro haya quedado inmóvil, flotando libremente y la temperatura de muestra es constante leer el hidrómetro hasta la más próxima medida división de la escala al igual que su temperatura. La lectura correcta del hidrómetro es aquel punto sobre la escala del

hidrómetro en la cual la superficie corta dicha escala como se muestra en la figura 3.4.

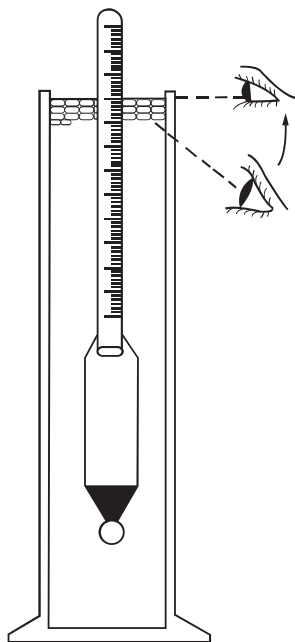


Figura 3.4 Lectura correcta del hidrómetro.

Fuente: Petrocomercial – Riobamba.¹⁹

3.3.1.2.4 Cálculos.

- Para determinar la gravedad específica se emplea la Ecuación siguiente.

$$GSP = \frac{141,5}{API + 131,5}$$

Donde: GSP= Gravedad específica

3.3.1.3 Índice de cetano.

Los métodos ASTM e INEN utilizados para determinar el índice de cetano son:
ASTM D-976:1995 Standard test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels.

INEN NTE 1495:87 Productos derivados de Petróleo: Determinación del Índice de Cetano Calculado.

3.3.1.3.1 Resumen.

El índice del cetano calculado se deriva de la densidad del combustible y límite de ebullición. Es también útil por estimar el índice de cetano de combustibles destilados, esta técnica no puede aplicarse a combustibles que contienen aditivos que levantan índice de cetano. Estos aditivos no cambian la densidad de combustible o perfil de la destilación, así que ellos no alteran el índice del cetano calculado.

3.3.1.3.2 Equipo y materiales.

- **Ábaco del índice de cetano mostrado en la figura 3.5.**

3.3.1.3.3 Procedimiento del ensayo.

El índice de cetano calculado se determina a partir de la temperatura de destilación ASTM del Diésel al 50% del recuperado a 760 mmHg, y con la densidad API corregido del diésel.

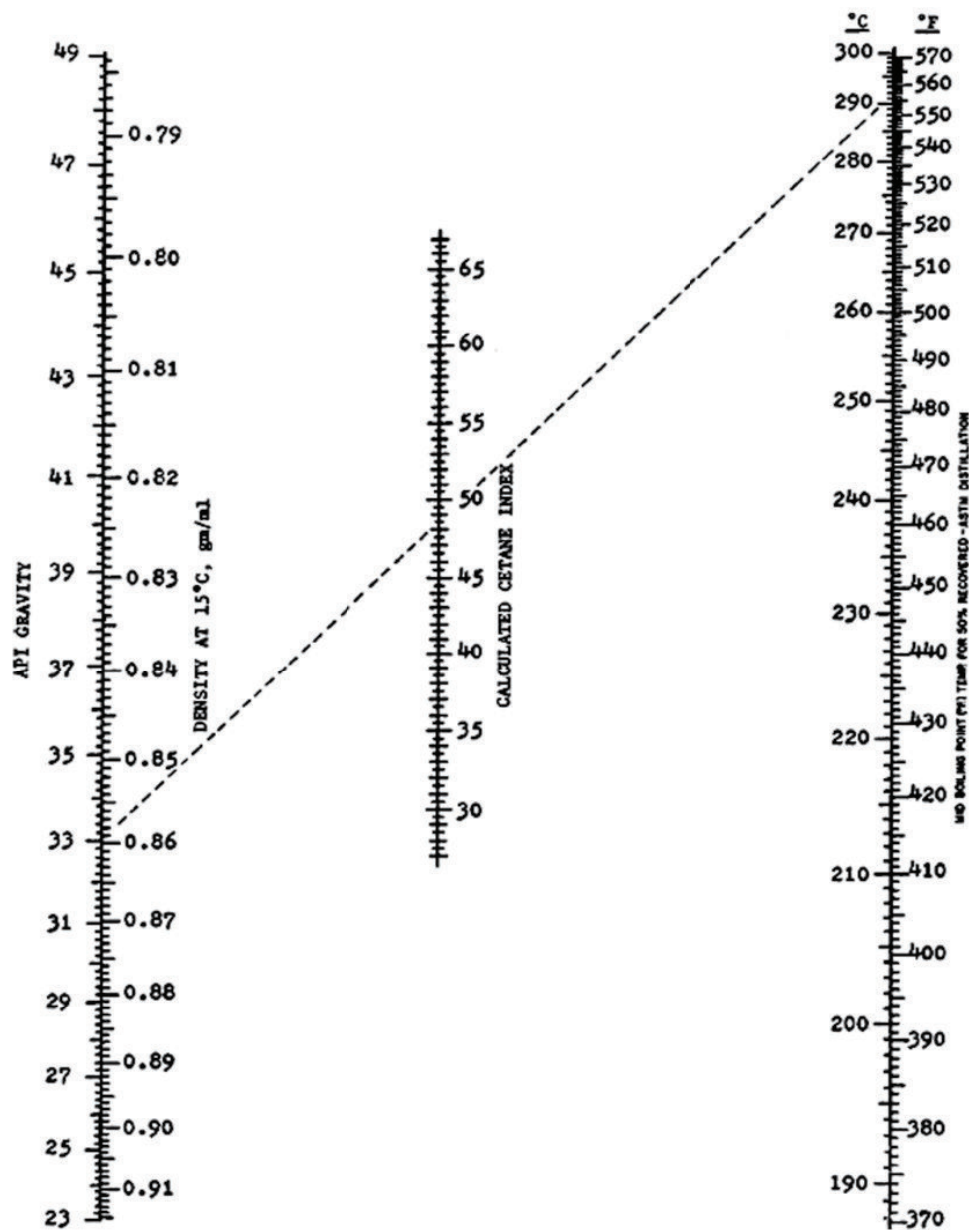


Figura 3.5 Ábaco del índice de cetano.

Fuente: Petrocomercial – Riobamba¹⁹

3.3.1.4. Corrosión a la lámina de cobre.

Los métodos ASTM e INEN utilizados para determinar corrosión a la lámina de cobre son:

ASTM D-130 Standard Test Method for Detection of Copper Corrosion from Petroleum Products by the Copper Strip Tarnish Test.

INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la Corrosión Sobre Lámina de Cobre.

3.3.1.4.1 Resumen.

Este método describe el procedimiento para reconocer la presencia de los compuestos corrosivos de azufre.

La presencia de sustancias corrosivas hace que los equipos se deterioren con facilidad ocasionando grandes pérdidas económicas; por esta razón se utiliza la lámina de cobre debido a que este elemento es más susceptible de ser corroído, para el reporte de los resultados utilizamos los estándares comparativos ASTM de corrosión de cobre mostrado en la figura 3.6.

3.3.1.4.2 Equipos y materiales.

- **Lámina de cobre:** La misma que debe estar libre de corrosión.
- **Estándares comparativos de corrosión ASTM.**
- **Bomba de corrosión:** Detallada en la figura 3.7
- **Baño maría para la corrosión:**
- **Termómetro para el baño maría:** En el laboratorio utilizamos el termómetro con un rango de temperatura que va desde 0 a 110°C

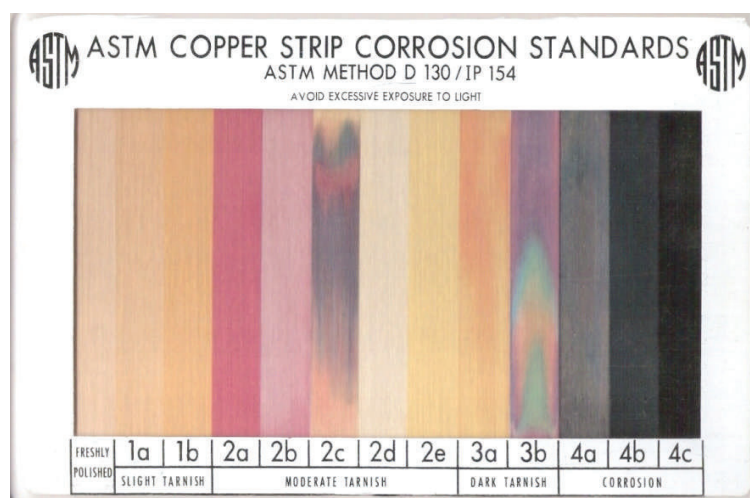


Figura 3.6 Estándares comparativos de corrosión ASTM.

Fuente: Petrocomercial – Riobamba

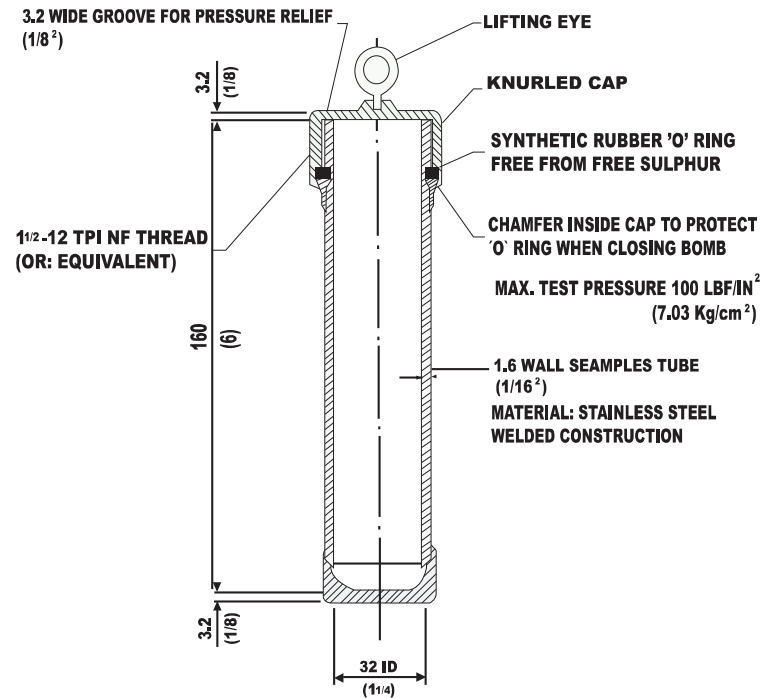


Figura 3.7 Bomba de corrosión.

Fuente: Petrocomercial – Riobamba

3.3.1.4.3 Procedimiento del ensayo.

- Asegurarse que la lámina de cobre se encuentre libre de corrosión para lo cual se lija completamente la lámina.
- El baño maría debe estar y mantenerse a la temperatura de 50 °C
- Introducir la lámina de cobre en el tubo de ensayo y está en la bomba de corrosión con la muestra de diésel premium.
- Después de tres horas se debe observar los resultados.
- Comparar la lámina de cobre con los estándares comparativos de corrosión ASTM.
- Repetir el ensayo de punto de inflamación para el aceite vegetal.

3.3.2 PRUEBAS DEL DESEMPEÑO DEL MOTOR

El procedimiento que se aplica para determinar el desempeño del motor se basa en la aplicación de un tipo de medición continua; misma que está enmarcada en las normas DIN 70020, CEE 80/1269, ISO 1585, JIS D-1001 y SAE J-1349. La

medición continua permite establecer la potencia y el torque del motor mediante el banco de potencia MAHA LPS 3000, equipo que se utiliza en este estudio.

3.3.3 POTENCIA-TORQUE

Para determinar el torque y la potencia del motor se sigue el procedimiento que se describe a continuación:

- Posicionar el vehículo en el banco de potencia, y por seguridad fijarlo al suelo mediante dos correas de alta resistencia.
- Llevar el motor del vehículo a la temperatura de funcionamiento normal.
- Seleccionar el punto de menú medición de potencia y, a continuación, el punto medición continua.
- Entonces, aparece la ventana que se muestra en la figura 3.8.
- Seleccionar o completar los datos del vehículo que el software requiera.
- Conocer la potencia aproximada y el factor de corrección del motor es indispensable en esta etapa de las pruebas.

Datos del vehículo			
Tipo de motor:	<input checked="" type="radio"/> Otto	<input type="radio"/> Diesel	<input type="radio"/> Wankel
Sobrealimentación:	<input type="radio"/> Sin sobrealimentador	<input type="radio"/> Turbo (refrig.aire)	<input type="radio"/> Turbo (refrig.agua)
Caja de velocidades:	<input type="radio"/> Manual	<input type="radio"/> Automática	
Deslizamiento:	<input type="radio"/> Sin deslizamiento	<input type="radio"/> Medir deslizamiento	<input type="radio"/> Entrada: 2,80
Accionamiento:	<input type="radio"/> Tracción delantera	<input type="radio"/> Tracción trasera	<input type="radio"/> Tracción 4 x 4
Rango de potencia:	<input type="radio"/> 10kW	<input type="radio"/> 30kW	<input type="radio"/> 70kW
	<input type="radio"/> 130kW	<input type="radio"/> 250kW	<input type="radio"/> 500kW
Corrección de potencia:	<input type="radio"/> Sin	<input type="radio"/> DIN	<input type="radio"/> EWG
	<input type="radio"/> ISO	<input type="radio"/> JIS	<input type="radio"/> SAE
Factores adicionales:	f_m 0,30	α_v [%] 0,00	P_{v0} [kW] 0,00
Valores límite:	v_{max} [km/h] 200	n_{max} [U/min] 4000	T_{max} [°C] 85
Masa rotatoria:	<input type="radio"/> Masa rotatoria std.	<input type="radio"/> Calcular m. rotatoria	<input type="radio"/> Entrada: 60,00
Volver F5 Base de datos F6 Continuar F8			

Figura 3.8 Datos del motor del vehículo de pruebas

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

- Seleccionar la fuente del número de r.p.m. y el sensor de revoluciones

del motor en la ventana que se muestra en la figura 3.9. Para esta investigación se escogen siempre las opciones Módulo de RPM estándar de la consola de comunicación.



Figura 3.9 Acondicionamiento de las revoluciones del motor

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

- Acelerar el vehículo en forma moderada y continua hasta llegar a la penúltima marcha (relación de transmisión 1:1). Mientras se realiza la fase de aceleración moderada figura 3.10, la velocidad de 50 km/h no se excede.
- En este punto del ensayo, se enciende el ventilador del banco de potencia presionando la tecla F2 desde el computador de comunicaciones con el objetivo de mantener estable la temperatura del motor del vehículo de pruebas. Indistintamente, cuando sea necesario se desactiva este módulo desde la misma tecla.

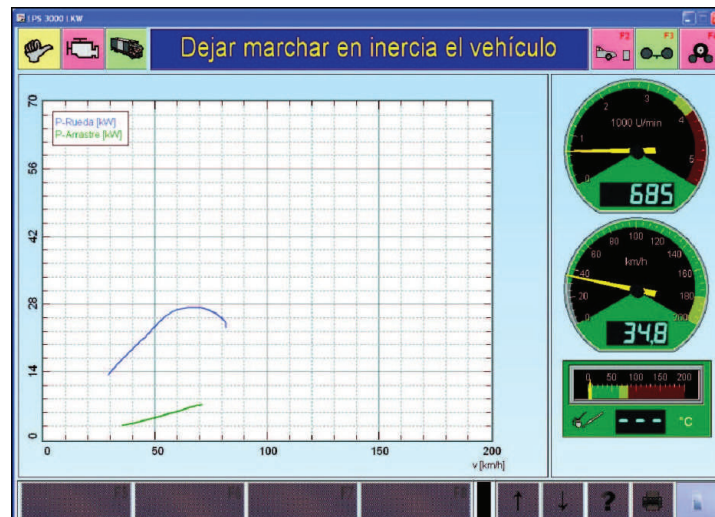


Figura 3.10 Realización de la prueba

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

- Presionar el pedal del acelerador a fondo.
- Después de alcanzar el número de *r.p.m.* nominal del motor, reducir un poco la velocidad y luego desembragar.

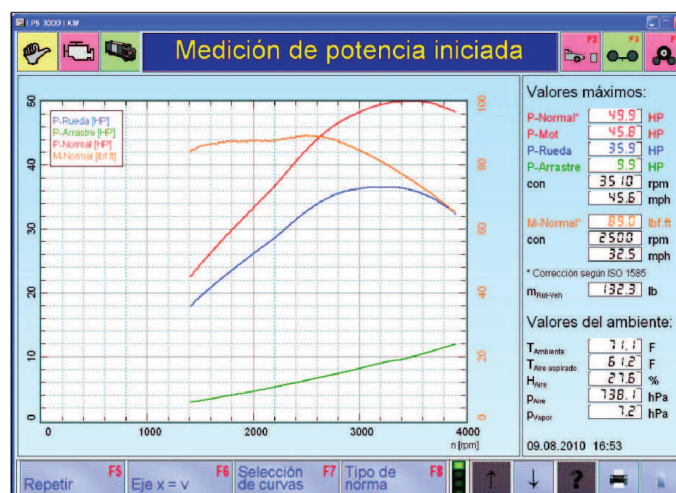


Figura 3.11 Curvas obtenidas luego de las pruebas

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

- Luego realizar la medición, automáticamente se muestran las curvas de la potencia del motor, la potencia a las ruedas, la potencia de arrastre y el par motor figura 3.11.
- Finalmente, imprimir y guardar los resultados. Estos se muestran en tablas y gráficos mediante Microsoft Office OneNote.

3.3.4 DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE GASES DE ESCAPE

La medición de la opacidad se la realiza en base a las normas técnicas ecuatorianas INEN 2202 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. DETERMINACIÓN DE LA OPACIDAD DE EMISIONES DE ESCAPE DE MOTORES DE DIÉSEL MEDIANTE LA PRUEBA ESTÁTICA. MÉTODO DE ACELERACIÓN LIBRE la cual detalla el procedimiento y el equipamiento mínimo requerido para determinar la opacidad de un vehículo a diésel y también a la INEN 2207 GESTIÓN AMBIENTAL. AIRE. VEHÍCULOS AUTOMOTORES. LÍMITES PERMITIDOS DE EMISIONES PRODUCIDAS POR FUENTES MÓVILES TERRESTRE DE DIÉSEL, en la cual se detallan los límites máximos de opacidad permitidos, en función del año de fabricación.

3.3.4.1 Prueba de Aceleración libre

Las pruebas de opacidad del humo por el método de aceleración libre se realizan con la ayuda del opacímetro, el cual sigue el procedimiento enmarcado en la norma técnica ecuatoriana INEN 2 202:2002. A continuación se detalla el procedimiento que se lleva a cabo en esta prueba, así como, la utilización de los equipos y del software:

- Ubicar el vehículo en el sitio de pruebas.
- Instalar el equipo de medición de opacidad del humo; sujetar la sonda del opacímetro al tubo de escape del automotor; realizar las conexiones eléctricas y de comunicación necesarias para su correcto funcionamiento; por último, encender el dispositivo.
- Ubicar el sensor piezoeléctrico en una de las cañerías de suministro de combustible de alta presión. Es importante señalar que en esta prueba el equipo de medición de revoluciones transmite sus datos al opacímetro y no a las cajas de interface.
- Encender el motor del vehículo, y llevarlo a la temperatura normal de funcionamiento (temperatura de refrigerante del motor ~ 90°C).

- Iniciar el programa informático; entonces, aparece la ventana de la figura 3.12.
- Seleccionar el tipo de combustible que el vehículo utiliza (*Diésel*). En la ventana subsiguiente escoger la opción *Análisis de gases*.
- Para que el opacímetro se caliente y sea reconocido por el programa informático es recomendable seleccionar la opción *Prueba de diagnóstico*; observar que el equipo de medición registre datos del ambiente, y enseguida volver a la ventana predecesora, y seleccionar la opción *Control de emisiones*.



Figura 3.12 Inicio del software Eurosystem

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

- Seleccionar la opción *Prueba sin base datos*.
- Se presenta el cuadro de diálogo que se muestra en la figura 3.13; en el cual, luego de llenar los datos correspondientes al vehículo de pruebas, se selecciona el botón *Siguiente F8* para continuar.
- Ingresar los datos teóricos (especificaciones del fabricante) del motor del vehículo de pruebas (ver figura 3.14).

Figura 3.13 Datos de identificación del vehículo

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

Figura 3.14 Datos teóricos del motor

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

- Seleccionar el tipo de sensor a utilizar en la medición de las *r.p.m.* del motor se escoge la opción *sensor piezoeléctrico*.
- Para que el software reconozca a dicho sensor, se seleccionan en orden las opciones *MDO*, *Continuar F8* y luego *Volver*.
- Verificar que el vehículo esté a la temperatura normal de funcionamiento, y elegir opción *Temperatura alcanzada*.
- En el paso siguiente, se tiene cuidado de no accionar el pedal del

acelerador hasta que el programa registre las r.p.m. de ralentí del motor (este hecho dura unos 20 segundos), y luego se selecciona Continuar F8.

- Acelerar el motor continuamente, hasta alcanzar las máximas revoluciones del motor, dictadas por las especificaciones del fabricante, las cuales se identifican en la ventana del software por una zona de color verde (ver la figura 3.15); mantener acelerado el motor en esta zona por el tiempo que el programa informático lo indique.
- Realizar aceleraciones de limpieza, mismas que son solicitadas por el software. Estas aceleraciones, también, se realizan presionando el pedal del acelerador a fondo hasta alcanzar las máximas revoluciones del motor, y durante el tiempo que el software lo solicite.
- Enseguida, realizar el mismo tipo de aceleraciones anteriores por tres ocasiones, siempre siguiendo el procedimiento que el programa indica a través de la pantalla del computador del pupitre de comunicaciones. El programa automáticamente recoge las tres mediciones más parecidas, eliminando aquellas que son demasiado altas o bajas, con respecto a las otras; así mismo, el software solicita repetir una o más aceleraciones si este registra una interrupción o anomalía en el proceso de aceleración, o si son demasiado altas o bajas (fuera de rango) las revoluciones del motor.



Figura 3.15 Medición de opacidad con el software Eurosystem

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.3.5 DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE INYECCIÓN

El banco de pruebas para bombas de inyección dispone una plataforma donde se fija la bomba y un motor eléctrico provisto de un variador de velocidad, al cual se acopla el eje de mando de la bomba. La velocidad de rotación se señala en un indicador de disponible en el banco de pruebas. Figura 3.16



Figura 3.16 Banco de Pruebas para Bombas de Inyección

(Fuente: TAIAN NANTAI Machinery, 2010)

En el banco de pruebas se dispone un sistema de calentamiento del combustible, con regulación termostática, que asegura una temperatura adecuada y constante durante los ensayos.

La alimentación de combustible de la bomba de inyección está asegurada por una bomba situada en el banco, que suministra el combustible a una presión de 20 bares, necesaria para efectuar ciertos controles de estanqueidad. En el banco se disponen también los inyectores de prueba, a los que se conectan cada una de las salidas de alta presión de la bomba, por medio de tuberías adecuadas. Cada uno de estos inyectores vierte el combustible en una probeta graduada, que puede ser vaciada después de cada prueba. El número de inyecciones efectuadas se controla mediante un indicador disponible en el banco.

El banco de pruebas debe permitir las siguientes funciones:

1. Medición del caudal de inyección en cada cilindro a cualquier velocidad.
2. Ángulo de intervalo de suministro de aceite de la bomba de inyección.

3. Comprobar y ajustar el regulador mecánico.
4. Comprobación y ajuste de la bomba de distribución.
5. Ajuste del comportamiento de la sobrealimentación
6. La medición de retorno de aceite.
7. La medición de la presión interna de la bomba de distribuidor.

3.3.5.1 Requerimientos del banco de pruebas

El banco de pruebas utilizado tiene las siguientes características: tabla 3.6.

Tabla 3.4 Características de banco de pruebas para bombas de inyección.

N°	DESCRIPCION	Característica
1	Potencia salida	7,5Kw
2	Motor	C.A
3	Rango de velocidades	0- 4000
4	Numero de cilindros mínimos	12
5	Temperatura prueba diésel	40°
6	Carreras	50 – 9999
7	Bombas motor alimentación	1,1 Kw
8	Volumen tanque combustible	40 L
9	Graduación mínima	45ml
10	Graduación máxima	150ml
11	Alimentación	12/24 V
12	Manómetros alta	>4MPA
13	Manometro Baja	>0,4Mpa

(Fuente: TAIAN NANTAI Machinery, 2010)

Se asegura de solo usar el tipo de tobera que se pida en la especificación individual. A continuación se enlistan la característica de los inyectores de prueba utilizados en la tabla 3.7.

Tabla 3.5 Características de inyectores

Tipo	Presión de apertura	
	PSI	Bar
DN12SD12	2500	170

(Fuente: TAIAN NANTAI Machinery, 2010)

En cuanto al aceite de calibración es recomendado para la práctica es SAE J697d o Mobil Oil N° 68605, estos aceites de pruebas tiene los siguientes requisitos detallados en la tabla 3.8:

Tabla 3.6 Características líquido de calibración

PROPIEDAD	VALOR
Viscosidad cinemática a 100 ⁰ F Cst (ASTM D445)	2.55 — 2.85
Densidad a 60 ⁰ F (ASTM 1298)	0.819 — 0.829
Punto de inflamación, copa cerrada, (ASTM D 93)	1670F Min.
Corrosión (ASTM D130)	Debe pasar clase 1
% de azufre por peso (ASTM D129)	0.4
Destilación a 5% de volumen (ASTM D86)	4100F Máx.

(Fuente: TAIAN NANTAI Machinery, 2010)

3.3.5.2 Temperatura del aceite de calibración

La temperatura del aceite de calibración en el banco de pruebas debe mantenerse entre 110 y 115 °F (43 a 46 °F) durante la prueba de la bomba de inyección, la lectura de la temperatura debe tomarse tan cerca de la entrada como sea posible. El banco de pruebas debe estar equipado con un calentador y control termostático para mantener esta temperatura.

3.3.5.3 Recomendaciones al probar bombas de inyección

Se deben observar las siguientes recomendaciones:

- Seleccionar la hoja de especificaciones técnicas concernientes a la bomba que vamos a realizar la calibración.
- Verificar el nivel del aceite del banco de pruebas el cual se va a utilizar, si a este le hace falta, se lo completará con un aceite destinado para motores, hasta que alcance su nivel especificado.
- Montar el juego de conductos de inyección según el tipo de bomba y el banco, determinado en la hoja de especificaciones.
- El banco de pruebas debe ajustarse para trabajar en la dirección correcta de rotación para la bomba que se va a calibrar.
- Purgar la bomba correctamente antes de proceder a cubicarla. Esta operación se lo realizará siempre que se haya drenado el combustible de la bomba.
- El aceite de pruebas debe estar a una presión de 1 a 2 bar, en el interior del cuerpo de la bomba.
- El aceite de pruebas deberá estar a una temperatura de 40 ± 3 °C, porque es cuando este tiene menor dispersión para tomar las lecturas en las probetas, esta lectura se tomará en la parte inferior del mecanismo una vez transcurridos 15 segundos, debido a que el aceite a quedado libre de espuma. Para tomar la lectura se deberá obviar las tres primeras pruebas y haber dejado escurrir las probetas por 30 segundos entre prueba y prueba.

3.3.6 DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN DE INYECCIÓN

Las características técnicas principales del probador de inyectores utilizado en la calibración de presiones comprendidas entre 140 bar, 160 bar, 180 bar. Son las sindicadas en la tabla 3.9:

Nº	DESCRIPCIÓN	Características
1	boquilla	M14
2	Boquilla	M17
3	Boquilla	M19
4	Manómetros	0-40 MPa (0-400 bar).

Tabla 3.7 Características de calibrador de inyectores

(Fuente: TAIAN NANTAI Machinery, 2010)

El calibrador de inyectores debe permitir probar, ajustar y calibrar la tobera de inyección e inyectores, presión de apertura, determinar las fugas, el patrón de rociado y pruebas para inyectores mecánicos universales.

El calibrador de inyectores utilizado fue el mostrado en la figura 3.17 el cual permite medición de presiones hasta 400 bar.



Figura 3.17 Calibrador de inyectores

(Fuente: TAIAN NANTAI Machinery, 2010)

3.4 EQUIPOS QUE SE UTILIZAN EN LOS ENSAYOS

3.4.1 VEHÍCULO DE PRUEBAS

El vehículo que se somete a los diversos experimentos concernientes a este estudio es una camioneta Toyota Hilux doble cabina 4x4 modelo 1998 mostrado en la fig. 3.18; propiedad de la Escuela Politécnica Nacional, a cargo del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares.



Figura 3.18 Vehículo de pruebas

(Fuente: Propia.)

Los datos generales del vehículo y las especificaciones técnicas del motor se exponen en la tabla 3.10

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas del vehículo²⁹

ESPECIFICACIONES DEL VEHÍCULO			
DATOS GENERALES DEL VEHICULO	Detalle		
	Fabricante		Toyota
	Tipo		Camioneta Doble
	Marca y Modelo		Hilux 1998
	Kilometraje		
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOTOR	Tipo		Diésel
	Tecnología Valvular		8 Valvulas OHC
	Cilindraje	cc	2778
	Sistema de combustible		Bomba distribuidora
	Potencia maxima	Kw	65
		r.p.m.	4.000
	Par motor máximo	Nm	185
		r.p.m.	2.400
Relación de compresión		22,2:1	

(Fuente: Mitsubishi Motors Tritón Specifications and Features,1998.)

3.4.1.1 EVALUACIÓN Y PREPARACIÓN DEL VEHÍCULO DE PRUEBAS

Antes de iniciar con las pruebas, resulta imprescindible efectuar una evaluación del estado inicial de los diferentes componentes y sistemas del vehículo sobre los cuales tienen o pueden tener incidencia alguna en los resultados. También, es necesario desarrollar un mantenimiento básico de varios de los elementos y sistemas del vehículo de pruebas, todo esto, previo a la ejecución de los ensayos a cumplirse. A continuación se citan las principales actividades que se llevan a cabo:

- Inspección del sistema de luces.
- Inspección de los niveles de los fluidos y correas.
- Comprobación del estado de los frenos.
- Comprobación del equipo de seguridad del vehículo.
- Verificación de los controles e indicadores del tablero.
- Verificación del estado de los filtros de combustible, filtro de aire, cañerías

²⁹ Toyota es Casabaca, <http://www.casabaca.com/up.php>

de suministro y de retorno de combustible.

- Inspección del tubo de escape de gases quemados.
- Verificación y registro del kilometraje recorrido por el vehículo.
- Limpieza del tanque de combustible.
- Limpieza, calibración y comprobación de los inyectores de combustible.
- Limpieza, calibración y comprobación de la bomba de inyección de combustible.

Es necesario cambiar el aceite lubricante del motor y los filtros que lo purifican; además, se requiere reemplazar un empaque del tubo de escape de gases combustionados. Por otra parte, se lleva a cabo una limpieza, calibración y comprobación de la bomba de inyección de combustible con objetivo de reglarla a condiciones estándar, especificadas por el fabricante del automotor.

3.4.2 DINAMÓMETRO

El dinamómetro de chasis o banco de potencia que se utiliza es el mostrado en la figura 3.19, fabricado por MAHA bajo el modelo de LPS 3000³⁰.

Este equipo permite efectuar una simulación exacta de condiciones de marcha definidas. es posible llevar a cabo un sinnúmero de comprobaciones de varios parámetros tales como:

- Potencia y torque del motor, potencia a las ruedas, potencia de arrastre a velocidad, revoluciones o fuerza de tracción constante mediante pruebas individuales o ciclos de manejo.
- Potencia y torque del motor según DIN-70020, EWG 80/1269, ISO-1585, JIS D-1001y SAE J-1439.
- Velocidad del vehículo, revoluciones del motor, temperatura del aceite del motor, y más.

³⁰ MASCHINENBAU, H. (2009). *Bancos de potencia, funciones y prueba de gases*. Germany.

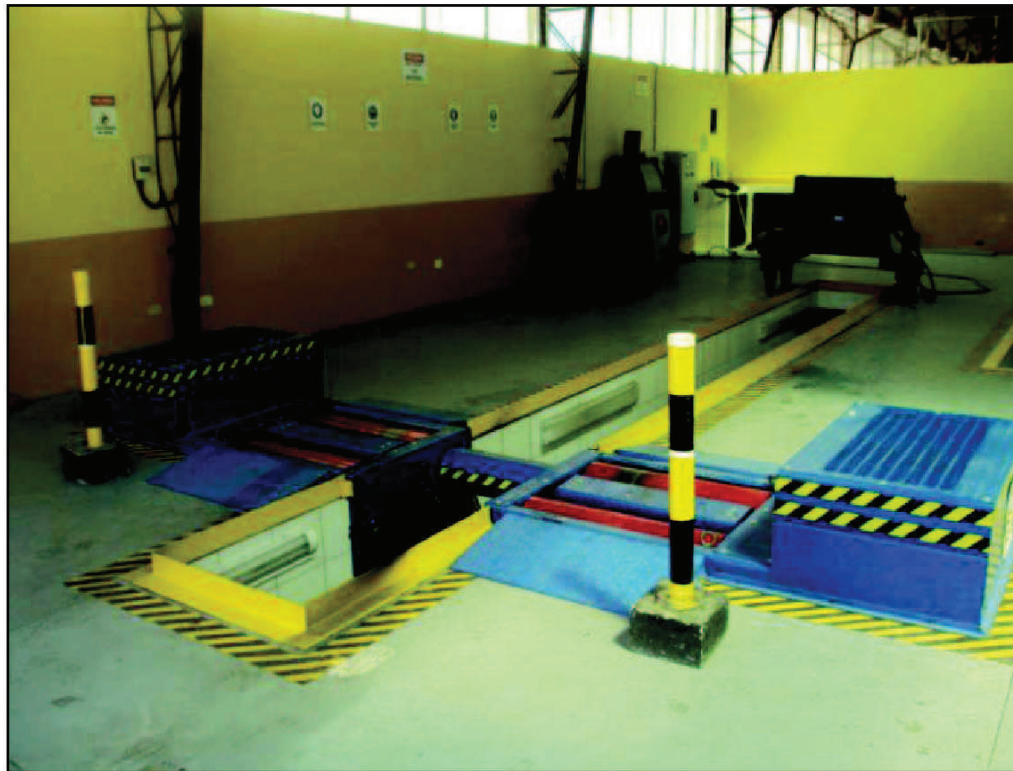


Figura 3.19 Banco de potencia y juego de rodillos de la serie R102

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

Para llevar a cabo las diferentes tareas de medición se pueden seleccionar los modos de servicio siguientes:

- Simulación de carga.
- Medición de la potencia del motor.
- Medición de la elasticidad.
- Control del tacómetro.
- Adaptación de carga.
- Prueba dinámica Lug-Down.

En la tabla 3.11, se muestran las características técnicas del módulo utilizado en las pruebas con dinamómetro.

Tabla 3.9 Especificaciones del banco dinamométrico

ESPECIFICACIONES DEL BANCO DE POTENCIA		
Detalle	Unidad	Valor
Modelo	-	LPS 3000
Revoluciones del motor	<i>r.p.m.</i>	0-10.000
Precisión	%	±2 (sobre valor medio)
Fusibles	<i>A</i>	35
Tipo de rodillos	-	R 102
Potencia a las ruedas	<i>kW</i>	0-400
Velocidad	<i>km/h</i>	0-200
Fuerza de tracción	<i>kN</i>	0-15
Carga máxima por eje	<i>t</i>	15

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.4.3 JUEGOS DE RODILLOS DE LA SERIE R102

Los juegos de rodillos constituyen el módulo principal del banco dinamométrico de MAHA, y se componen de un bastidor auto portante con recubrimiento de polvo y rodillos metalizados; es sobre éstos que se colocan los neumáticos del vehículo que se somete a las pruebas dinámicas. Las características de estos dispositivos se exhiben en tabla 3.12.

Tabla 3.10 Rodillos del banco dinamométrico

ESPECIFICACIONES DEL JUEGO DEL RODILLOS		
Detalle	Unidad	Valor
Datos generales		
Modelo	-	R102
Carga sobre el eje	<i>t</i>	2,5
Longitud	<i>mm</i>	4.140
Anchura	<i>mm</i>	1.100
Altura	<i>mm</i>	625
Peso	<i>kg</i>	1.500
Longitud de rodillos	<i>mm</i>	750
Vía mínima	<i>mm</i>	800
Vía máxima	<i>mm</i>	2.300

Diámetro mínimo de ruedas para ensayar	<i>pulg</i>	12
Diámetro de rodillos	<i>mm</i>	318
Distancia entre rodillos	<i>mm</i>	540
Sistema de elevación con bloqueo de rodillos		
Neumático	<i>bar</i>	8 (máximo)
Datos eléctricos		
Corriente parásita	<i>kW</i>	520
Alimentación de voltaje	<i>V</i>	230 (50 Hz)
Protección por fusible	<i>A</i>	32
Campo de indicación		
Velocidad de ensayo máxima	<i>km/h</i>	250
Potencia rueda máxima	<i>kW</i>	520
Fuerza de tracción máxima	<i>kN</i>	12
Número de revoluciones	<i>r.p.m.</i>	0-10.000
Precisión de medición	<i>%</i>	2

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.4.4 MÓDULO DE COMUNICACIONES Y COMPUTADOR

El pupitre de comunicaciones, alberga y protege al computador principal del banco dinamométrico, la tabla 3.13 detalla las especificaciones del módulo de comunicaciones.

Tabla 3.11 Pupitre de comunicaciones

ESPECIFICACIONES DEL MODULO DE COMUNICACIONES		
Detalle	Unidad	Valor
Dimensiones del pupitre	<i>Mm</i>	600x1.850x800
Peso aproximado	<i>Kg</i>	250
Alimentación de voltaje	<i>V</i>	230 (50 Hz)

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

La tabla 3.14 muestra las especificaciones del computador, este dispone de los programas informáticos necesarios para la administración del LPS 3000.

Tabla 3.12 Computador principal

ESPECIFICACIONES DEL COMPUTADOR	
Detalle	Valor
Monitor	Samsung LCD 19"
Procesador	Intel Core 2 Duo 2,93 GHz
Mainboard	Intel DG945GCNL
Memoria	2 Gb
Disco duro	250 Gb
Conectividad	Tarjeta internet inalámbrico
Sistema operativo	Windows XP

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

La figura 3.20 muestra el pupitre de comunicaciones que parte del equipo LPS 3000.

**Figura 3.20** Pupitre de comunicaciones

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.4.5 CAJA DE INTERFACES

La caja de interfaces es la encargada de registrar datos externos, tales como: número de revoluciones del motor, datos de diagnóstico a bordo (*OBD*), temperaturas, presiones y humedad del ambiente, y más señales analógicas. El proceso de registro se lo realiza mediante módulos; se montan hasta cuatro módulos en la caja de interfaces mostrado en la figura 3.21. En una segunda caja de interfaces que se conecta en paralelo se pueden instalar módulos adicionales.

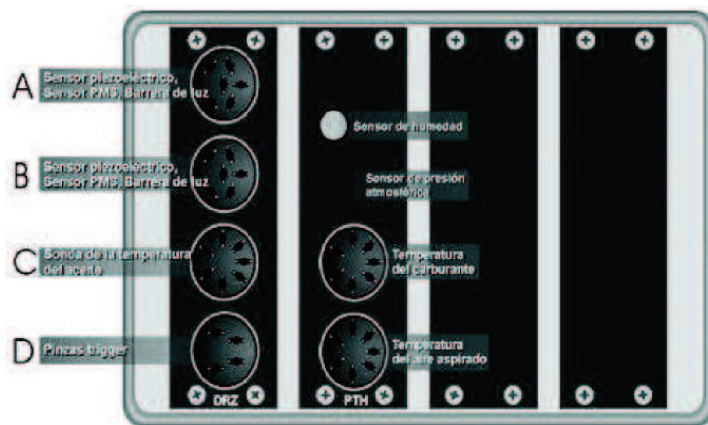


Figura 3.21 Caja de interfaces

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.4.6 VENTILADOR DE ENFRIAMIENTO.

El ventilador refrigerante es un equipo marca MAHA modelo MDO2 mostrado en la figura 3.22; se ubica siempre frente al vehículo de pruebas; crea un flujo de aire, cuya intensidad depende de la proximidad del equipo al automotor, que actúa sobre el radiador con el propósito de regular la temperatura del líquido refrigerante del motor. Siempre que se realiza algún tipo de ensayo con el vehículo en el banco dinamométrico es necesario accionar el ventilador enfriamiento con el fin de proteger al motor de un sobrecalentamiento.

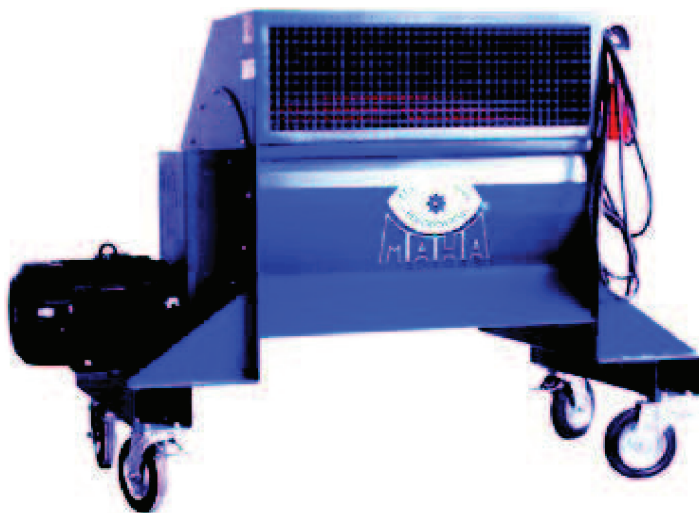


Figura 3.22 Ventilador refrigerante
(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

Las especificaciones de este equipo se exponen en la tabla 3.15.

Tabla 3.13 Ventilador refrigerante

ESPECIFICACIONES DEL VENTILADOR		
Detalle	Unidad	Valor
Modelo	-	MDO2 LON
Caudal de aire	m ³ /h	26.500
Velocidad del aire	km/h	98
Potencia del motor	kW	7,5 (400V;50Hz)
Dimensiones totales	Mm	1.265x700x1620
Peso	Kg	350

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.4.7 OPACÍMETRO

El opacímetro marca MAHA utilizado es el mostrado en la figura 3.23 es un analizador de humos de cámara cerrada que funciona bajo el procedimiento de muestreo de descargas parciales, y evalúa el grado de obscuridad de los gases de escape, propio de los motores a diésel. Este equipo puede funcionar de manera autónoma o como un dispositivo complementario al banco de potencia.



Figura 3.23 Opacímetro

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

Las características del equipo se detallan en la tabla 3.16

Tabla 3.14 Especificaciones del opacímetro

ESPECIFICACIONES DEL OPACÍMETRO		
Detalle	Unidad	Valor
Modelo	-	MDO2 LON
Dimensiones	mm	550x245x240
Peso aproximado	kg	13
Alimentación de voltaje	V	230 (50 Hz)
Conexión a la red	V	12-24
Potencia media absorbida	W	110
Interfase (USB)	-	RS-232
Programa informático	-	Software Eurosystem

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.4.8 ELEVADOR DE CUATRO COLUMNAS

En varias tareas del proyecto, especialmente en la instalación de equipos de medición y en el mantenimiento del vehículo, es necesaria la utilización de un

elevador con el fin de facilitar la ejecución de diferentes labores, figura 3.24.

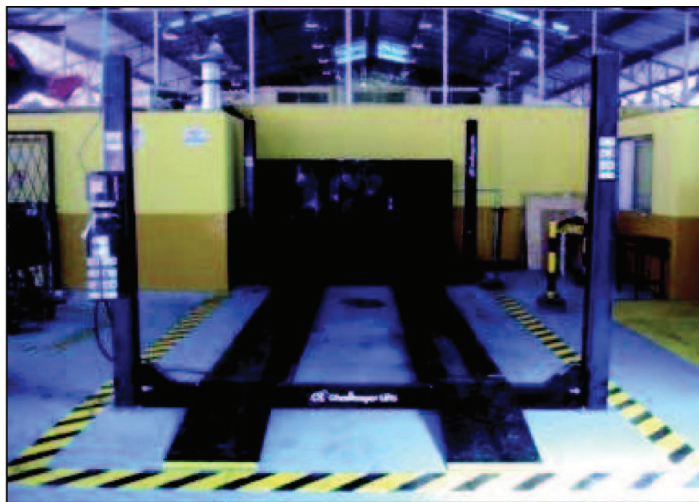


Figura 3.24 Especificaciones del elevador

(Fuente: Propia)

Sus características se presentan en la tabla 3.17.

Tabla 3.15 Especificaciones del elevador

ESPECIFICACIONES DEL ELEVADOR		
Detalle	Unidad	Valor
Capacidad de carga	<i>t</i>	5
Peso propio	<i>kg</i>	1650
Altura de columnas	<i>mm</i>	2.440
Altura de elevación	<i>mm</i>	1.900
Alimentación	<i>V</i>	400 (50 Hz)
Potencia	<i>kW</i>	4

(Fuente: MAHA Maschinenbau, 2009)

3.4.9 ELEMENTOS SUPLEMENTARIOS

Se emplean un sinnúmero de materiales y herramientas suplementarios que contribuyen a desarrollar de buena forma el proyecto: cables para suministro de corriente, alicates, pinzas, destornilladores, abrazaderas plásticas, recipientes plásticos; entre otros.

3.4.10 VISCOCÍMETRO DE VIDRIO CAPILAR

Debe estar calibrado y ser capaz de medir la viscosidad cinemática en los límites de precisión aceptables, la figura 2.2. muestra el viscosímetro de vidrio capilar utilizado.

Para permitir que el viscosímetro sea suspendido en una posición para la cual ha sido calibrado.

- **Baño de temperatura controlada:** Baño con aceite es utilizado y es provisto de la profundidad suficiente de manera que durante la medida todas las proporciones de la muestra en el viscosímetro estén por lo menos 20 mm por debajo de la superficie del baño y 20mm por encima del fondo.

CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y ANÁLISIS.

El presente capítulo presenta el análisis de resultados obtenidos en la potencia, torque, opacidad y pruebas físico-químicas para las modificaciones en:

- Caudal entregado por la bomba de inyección (4cc en 100 carreras, 5cc en 100 carreras, 6cc en 100 carreras).
- Presión de inyección (140 Bar, 160 Bar, 180 Bar).
- Tiempo de inyección (avance y retardo).

Los ANEXO A1.1, ANEXO A1.2, ANEXO A1.3 muestran los resultados de potencia torque, opacidad, y pruebas físico-químicas.

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS.

Se analiza los resultados a las pruebas de punto de inflamación, densidad API y gravedad específica, índice de cetano calculado, corrosión a la lámina de cobre.

Se muestra el análisis de resultados y gráficos correspondientes a las pruebas físico – químicas realizadas como son:

- Punto de inflamación.
- Densidad API y gravedad específica.
- Índice de cetano calculado.
- Corrosión a la lámina de cobre.
- Viscosidad cinemática.

4.1.1 ANALISIS DE RESULTADOS DEL LABORATORIO PUNTO DE INFLAMACIÓN.

En la figura 4.1 se presentan los resultados obtenidos para el punto de inflamación correspondientes para el diésel Premium y aceite vegetal puro.

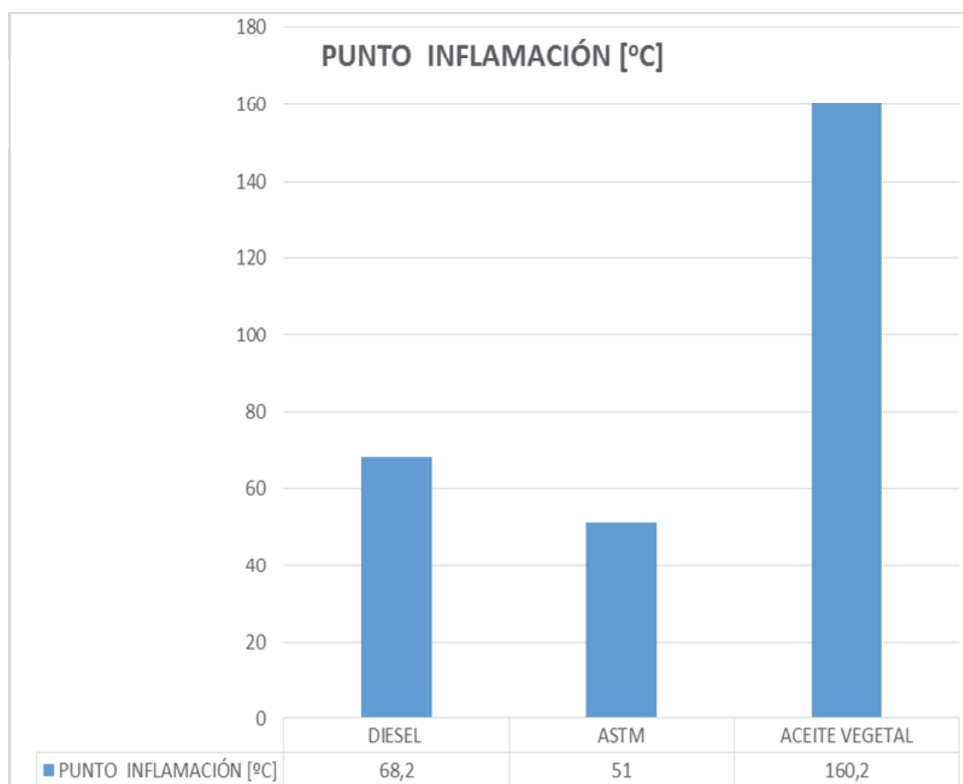


Figura 4.1 Punto de inflamación para diésel y aceite vegetal.

(Elaboración: Propia)

Interpretación del gráfico: Los valores de las muestras tanto del diésel como aceite vegetal se encuentran dentro del parámetro de las normas ASTM e INEN que establecen una temperatura mínima de 51°C para el combustible ideal a ser utilizados en un motor encendido por compresión, los valores son: 68,2 °C para el diésel y 160,2 °C para el aceite vegetal. En consecuencia el aceite vegetal presenta mejores características en este parámetro.

4.1.2 ANALISIS DE RESULTADOS EN DENSIDAD API.

La figura 4.2 presenta los resultados obtenidos para la gravedad específica a 60°F correspondientes para el diésel Premium y aceite vegetal puro.

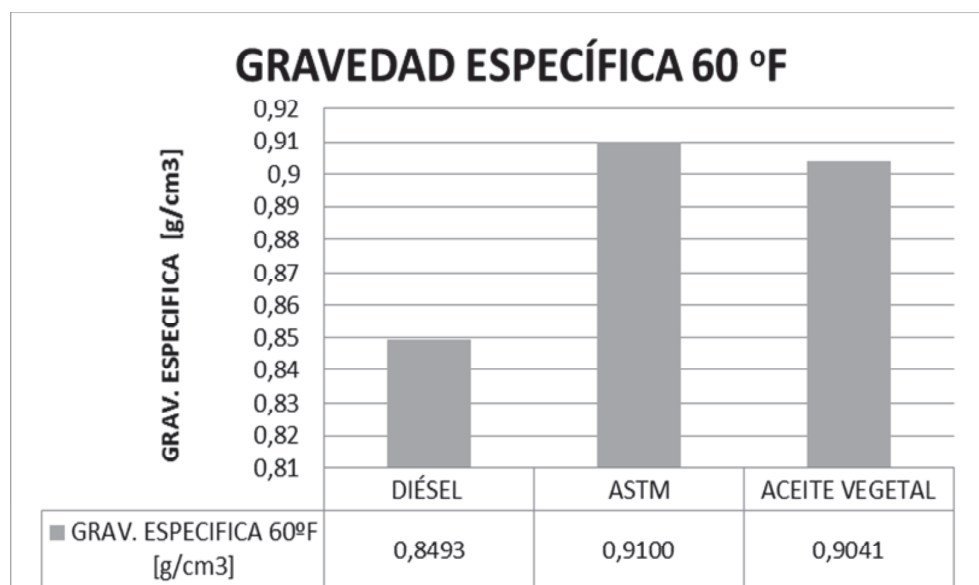


Figura 4.2 Gravedad específica para diésel y aceite vegetal.

(Elaboración: Propia)

Interpretación del gráfico: Se aprecia una diferencia del 6,45 %, al comparar los valores de: 0.8493 [g/cm³] para el diésel y 0,916 [g/cm³] para el aceite vegetal, esto nos indica que todas las muestras se encuentran dentro del parámetro de las normas ASTM D-1298:99 que establecen un límite superior de 0,910 [g/cm³] y se comprueba la afirmación según López Sastre et al. (1995),

quien informo que este dato no entraña ningún problema de funcionamiento en el motor encendido por compresión. Sin embargo de este análisis se sugiere un mejor comportamiento del diésel respecto a la norma.

4.1.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL LABORATORIO ÍNDICE DE CETANO.

La figura 4.3 presenta los resultados obtenidos para el índice de cetano correspondientes para el diésel Premium y aceite vegetal puro.

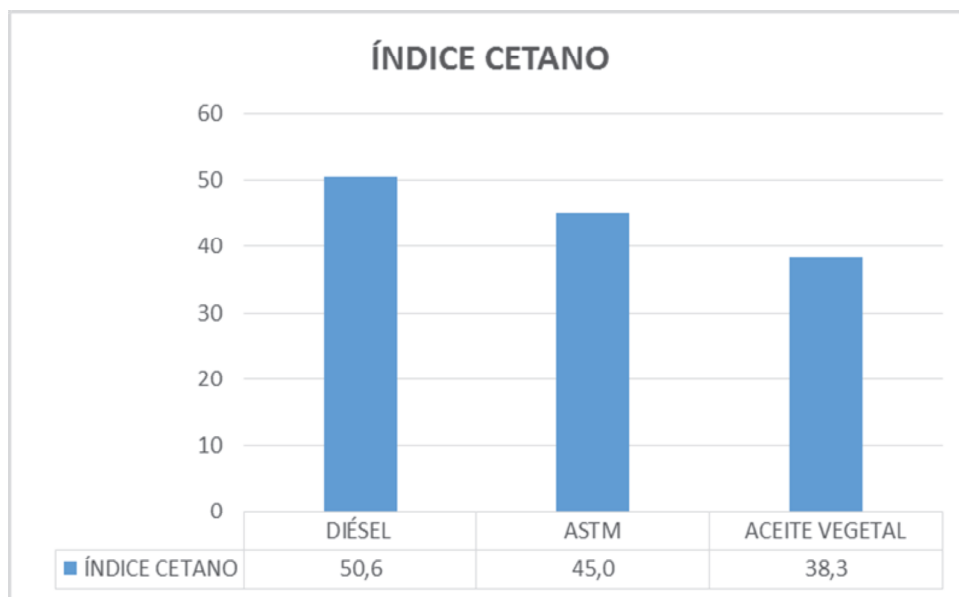


Figura 4.3 Índice de cetano para diésel y aceite vegetal.

(Elaboración: Propia)

Interpretación del gráfico: Se puede apreciar en la gráfica que el índice de cetano para el combustible diésel es 50,6, el índice de cetano para el aceite vegetal es 38,3. Esto es 24,3% menos. La norma ASTM D-976:1995 ó INEN NTE 1489:2012 que establecen un límite mínimo de 45 para el combustible diésel, al

tener el aceite vegetal un valor 24,3% menor al diésel requerirá una variación en el tiempo de inyección. Este índice ayuda a evitar el cascabeleo y posible daño en el motor.

4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS A CORROSIÓN LÁMINA DE COBRE.

La figura 4.4 presenta los resultados experimentales obtenidos una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-130 ó INEN NTE 0927:84 después que estas han sido expuestas a las muestras de diésel y aceite vegetal respectivamente por tres horas:



Figura 4.4 Resultados a la corrosión del diésel y aceite vegetal.

(Elaboración: Propia)

Al comparar con los estándares de corrosión ASTM figura 4.5, esta corresponde a 1a para el combustible diésel y 1b para el aceite vegetal, lo que significa que la corrosión para ambos combustibles es ligera, siendo levemente mayor para el aceite vegetal, entonces ambos combustibles cumplen la normativa.

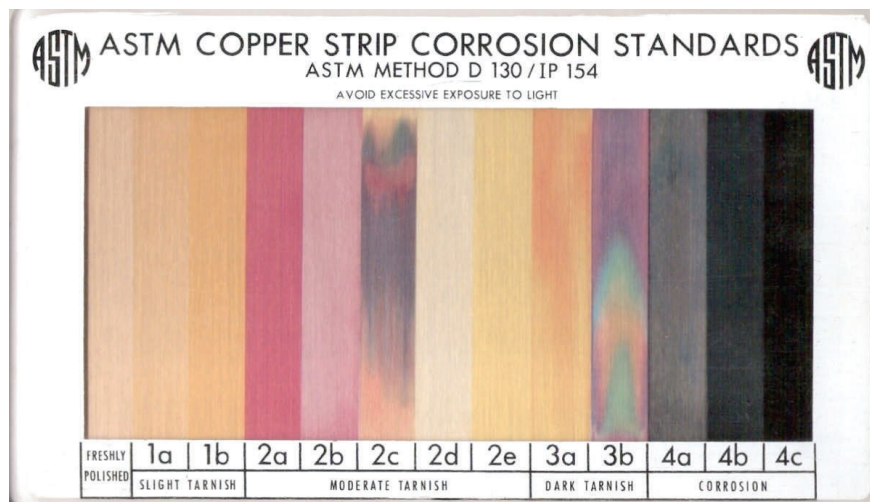


Figura 4.5 Patrón para determinar corrosión a la lámina de cobre ASTM D-130.

(Elaboración: Propia)

4.1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS VISCOSIDAD CINEMÁTICA.

En la figura 4.6 se presentan los resultados obtenidos para la viscosidad cinemática correspondientes para el diésel premium y aceite vegetal puro a 25,85 y 100 °C.

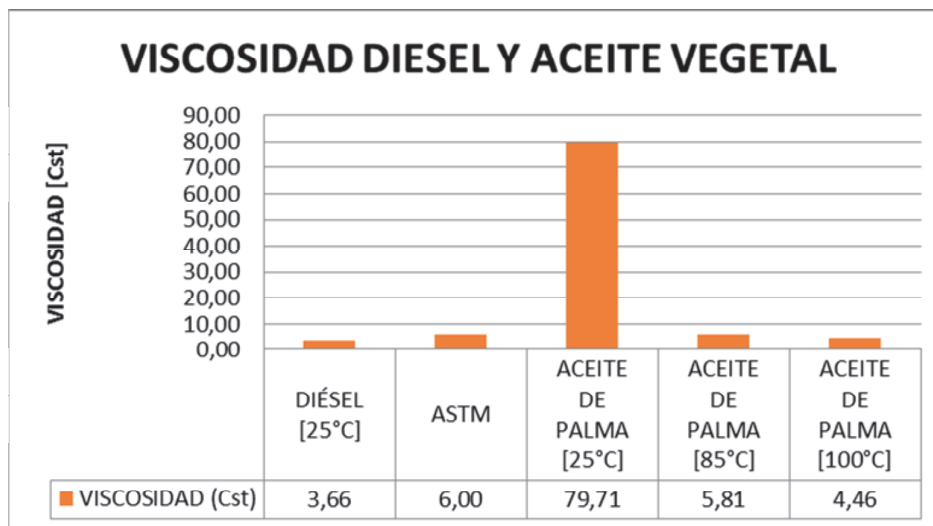


Figura 4.6 Resultados a la viscosidad del diésel y aceite vegetal.

(Elaboración: Propia)

Interpretación del Gráfico: Los valores de los combustibles diésel 25°C, aceite vegetal 85°C y 100°C se encuentra dentro de la norma ASTM D-445 ó INEN NTE 0927:84 que establecen un límite de 1,9 a 6,0 Cst, a excepción del aceite vegetal 25°C que tiene un valor de 79,71 Cst.

Se puede apreciar en la gráfica que los valores van desde: 3,66 [Cst] para combustible diésel a 25°C, El aceite de palma a 25°C tiene una viscosidad de 79,71 [Cst] pero a medida que se eleva su temperatura, varia a 5,81 [Cst] en 85°C y 4,46 [Cst] en los 100°C.

4.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL MOTOR.

La tabla 4.1 muestra las especificaciones del aceite vegetal puro usado como combustible alternativo.

Tabla 4.1 Especificaciones aceite de piñón

ESPECIFICACIONES DEL ACEITE DE PIÑÓN			
Detalle	Unidad	Norma	Valor
Destilación	°C	AST M D-86 (INE N 926)	336
Punto de inflamación	°C	ASTM D-93 (INEN 1047)	279,2
Corrosión lámina cobre	-	ASTM D-130 (INEN 927)	1b
Viscosidad a 25 °C	Cst	ASTM D-445 (INEN 810)	79,71
Índice de cetano	-	ASTM D-976 (INE N 1495)	38

(Elaboración: Propia)

4.2.1 ANÁLISIS A LA POTENCIA NORMAL

4.2.1.1 . Análisis de Potencia con variación de presión inyección.

Se modifico la presión de inyección desde una medida base de 160 bar disminuyéndola a 140 bar e incrementándola a 180 bar utilizando diésel a 25°C, aceite vegetal a 25°C y 85°C.

4.2.1.1.1 Análisis de Potencia con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 4cc en 100 carreras.

En la figura 4.7 se presentan los resultados obtenidos para la potencia normal con variaciones de presión desde la línea base de 160 bar disminuyéndola a 140 bar y aumentándola a 180 bar con caudal constante de 4 c en 100 carreras en 100 carreras.

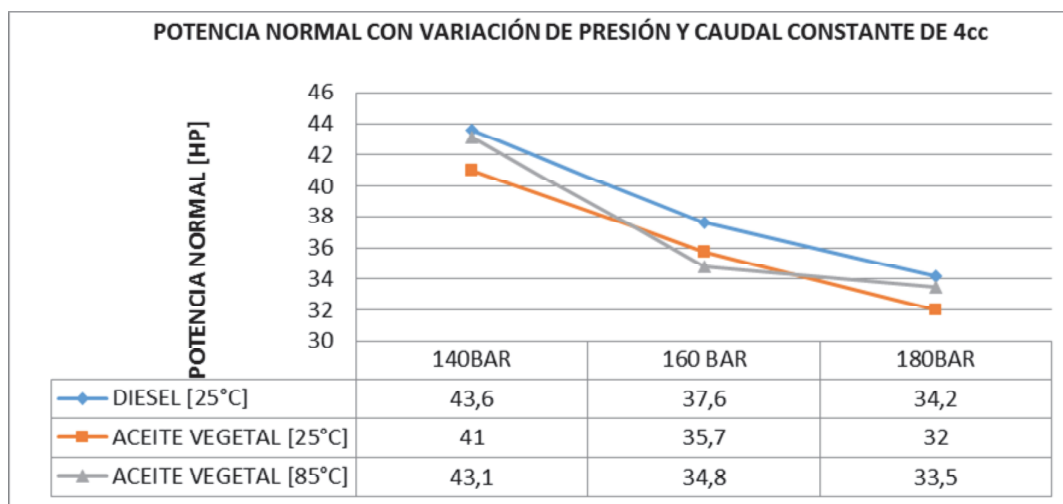


Figura 4.7 Potencia normal variación de presión y caudal constante de 4cc en 100 carreras

(Elaboración: Propia)

Partiendo desde la línea base 160 bar al reducir la presión de inyección a 140 bar la potencia normal aumenta: 6 HP al utilizar diésel, 5,3 HP al utilizar aceite vegetal 25°C y 8,3 HP al utilizar aceite vegetal 85°C. Al incrementar la presión de

inyección a 180 bar la potencia normal disminuye: 3,4 HP al utilizar diésel, 3,7 al utilizar aceite vegetal 25°C y 1,3 al utilizar aceite vegetal 85°C.

A las condiciones nominales la potencia normal disminuye alrededor del 7% al utilizar aceite vegetal a 25°C y 85°C si la comparamos con el diésel como combustible.

La mejor opción en este caso es el diésel a 140 bar.

4.2.1.1.2 Análisis de Potencia con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 5cc en 100 carreras.

En la figura 4.8 se presentan los resultados obtenidos para la potencia normal con variaciones de presión. La medida base fue de 160 bar, con reducción a 140 bar y luego incremento a 180 bar, todo esto con un caudal constante de 5 cc en 100 carreras.

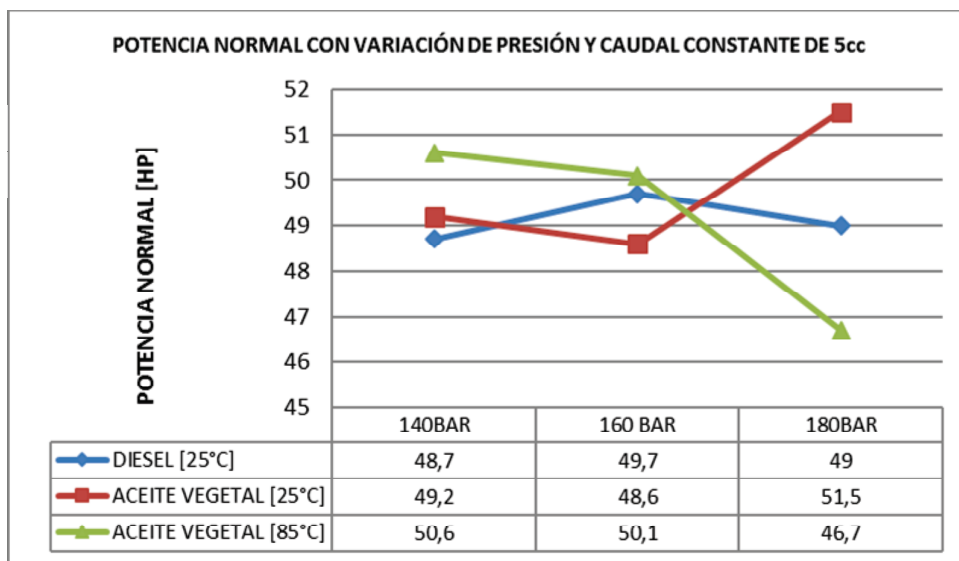


Figura 4.8 Potencia normal variación de presión y caudal constante de 5cc

(Elaboración: Propia)

En el primer análisis se deduce que solo el diésel experimenta una reducción de la potencia normal del 2% al reducir la presión de inyección de 160 a 140 psi, el aceite vegetal por el contrario incrementa la potencia normal en un 2%, este incremento se da por igual a temperatura de 25 y 85°C.

En el segundo análisis se deduce que solo el aceite vegetal a 25°C experimenta un aumento considerable de la potencia normal del 6% al incrementar la presión de inyección de 160 a 180 psi, el aceite vegetal a 85°C por el contrario reduce la potencia normal en un 7%.

Los resultados al utilizar combustible diésel permanecen casi homogéneos al modificar la presión de inyección.

La mejor opción es el aceite vegetal a 25°C a 180 bar.

4.2.1.1.3 Análisis de Potencia con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 6cc en 100 carreras.

En la figura 4.9 se presentan los resultados obtenidos para la potencia normal con variaciones de presión de 140 bar, 160 bar y 180 bar y un caudal constante de 6 cc en 100 carreras.

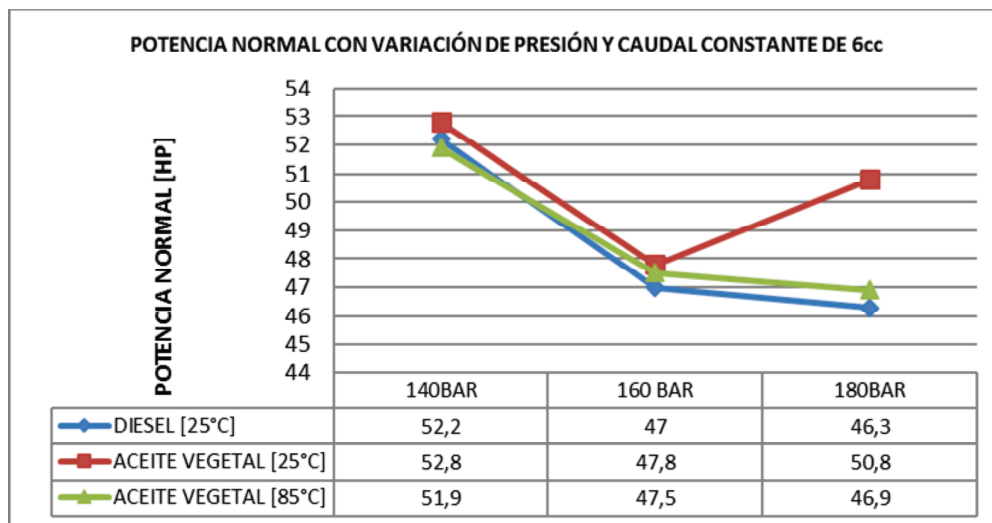


Figura 4.9 Potencia normal variación de presión y caudal constante de 6cc en 100 carreras

(Elaboración: Propia)

Partiendo desde la línea base 160 bar al reducir la presión de inyección a 140 bar la potencia normal aumenta: 5,2 HP al utilizar diésel, 5 HP al utilizar aceite vegetal 25°C y 4,4 HP al utilizar aceite vegetal 85°C. Al incrementar la presión de inyección a 180 bar la potencia normal disminuye: 0,7 HP al utilizar diésel, 0,6 al utilizar aceite vegetal 85°C inesperadamente aumenta 3 HP al utilizar aceite vegetal 25°C.

A las condiciones nominales potencia normal aumenta levemente al utilizar aceite vegetal a 25°C y 85°C si la comparamos con el diésel como combustible.

La mejor opción es el aceite vegetal a 25°C a 140 bar

4.2.1.2 Análisis de Potencia con variación de tiempo de inyección.

La figura 4.13 presenta los resultados obtenidos para la potencia normal con variación en el tiempo de inyección, caudal de 5cc en 100 carreras, y una presión constante de 180 bar.

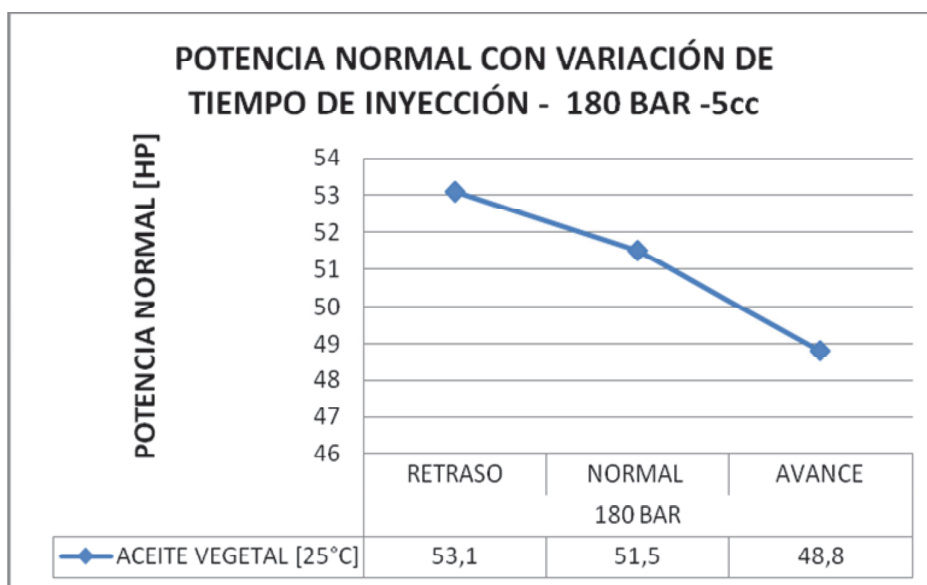


Figura 4.10 Potencia normal con variación de tiempo de inyección.

(Elaboración: Propia)

Con una presión de inyección de 180 bar se puede observar que se tiene una potencia normal de 51,5 [HP] y al modificar el tiempo de inyección de combustible en sentido de avance a la inyección se obtiene una reducción en la potencia de normal del 5,2% sin embargo si se retrasa el momento de inyección de combustible se tiene un aumento del 3,3%, siendo esta la mayor potencia obtenida en todas las condiciones de prueba.

4.2.2 ANALISIS AL TORQUE O PAR MAXIMO.

4.2.2.1 Análisis de Torque con variación de presión inyección.

Se presentan y analizan los resultados obtenidos en torque a una presión de inyección base de 160 bar, con reducción a 140 bar y luego incremento a 180 bar utilizando diésel a 25°C, aceite vegetal a 25°C y 85°C y variaciones de caudal de 4cc en 100 carreras, 5cc en 100 carreras y 6cc en 100 carreras.

4.2.2.1.1 Análisis de Torque con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 4cc en 100 carreras.

En la figura 4.14 se presentan los resultados obtenidos para el torque con variaciones de presión. La medida base fue de 160 bar, con reducción a 140 bar y luego incremento a 180 bar, todo esto con un caudal constante de 4cc en 100 carreras.

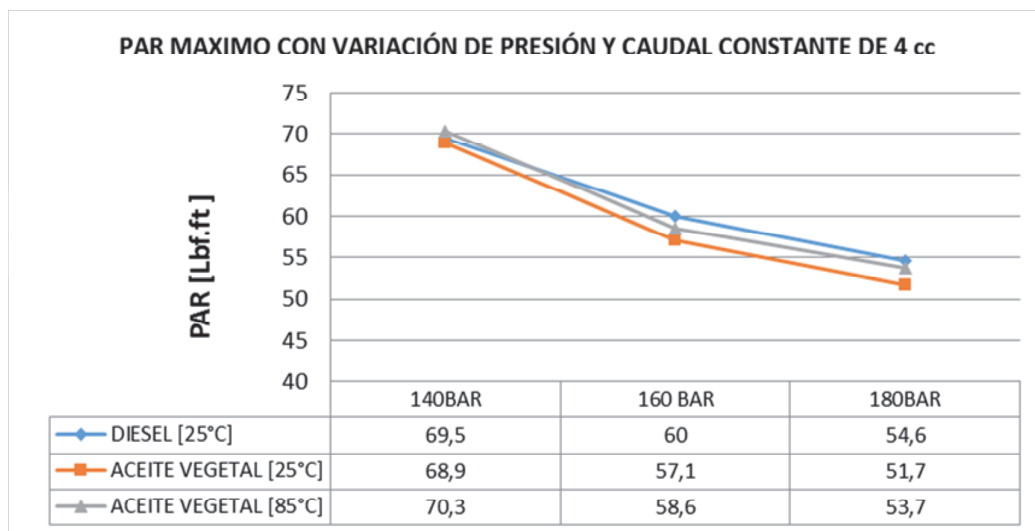


Figura 4.11 Par máximo con variación de presión y caudal constante de 4cc en 100 carreras

(Elaboración: Propia)

Con un caudal de inyección de combustible de 4cc en 100 carreras se puede observar que a medida que se reduce la presión de apertura de inyector de 160 a 140 bar el par máximo obtenido aumenta un 19% en promedio para los tres combustibles.

Por el contrario a medida que se aumenta la presión de apertura de inyector de 160 a 180 bar el par máximo obtenido se reduce un 11% en promedio para los tres combustibles.

4.2.2.1.2 Análisis de Torque con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 5cc.

En la figura 4.15 se presentan los resultados obtenidos para el torque con variaciones de presión de 140 bar, 160 bar y 180 bar y un caudal constante de 5cc en 100 carreras.

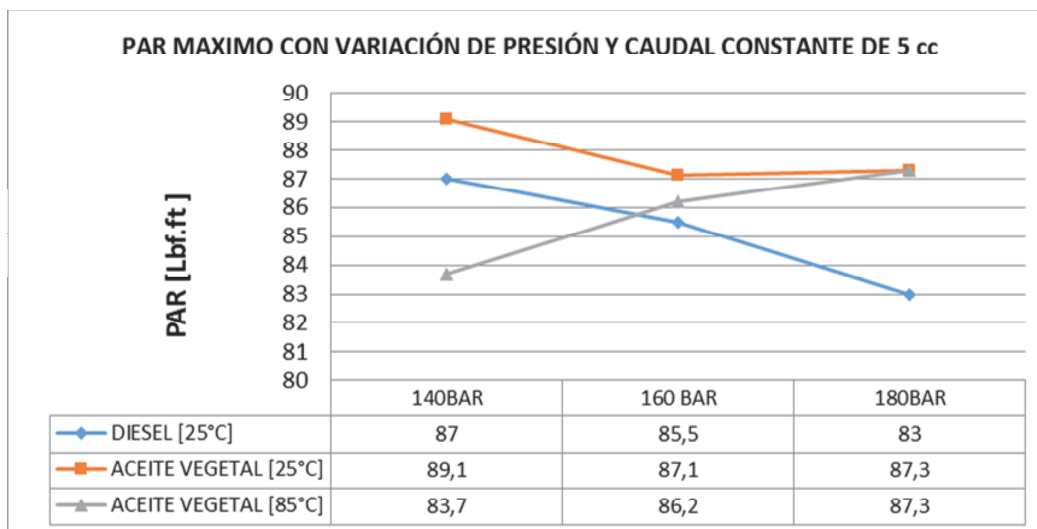


Figura 4.12 Par máximo con variación de presión y caudal 5cc en 100 carreras

(Elaboración: Propia)

Con un caudal de inyección de combustible de 5cc en 100 carreras se observa una tendencia a disminuir el torque a medida que aumenta la presión de inyección de 140 a 180 bar para diésel 25°C y aceite vegetal 25°C y por el contrario aumentar el torque a medida que aumenta la presión para el aceite vegetal 85°C.

Sin embargo es interesante analizar que en términos generales el par máximo aumenta al utilizar aceite vegetal 25°C en comparación con el diésel como combustible.

4.2.2.1.3 Análisis de Torque con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 6cc en 100 carreras.

En la figura 4.16 se presentan los resultados obtenidos para el torque con variaciones de presión. La medida base fue de 160 bar, con reducción a 140 bar y luego incremento a 180 bar, todo esto con un caudal constante de 6 cc.

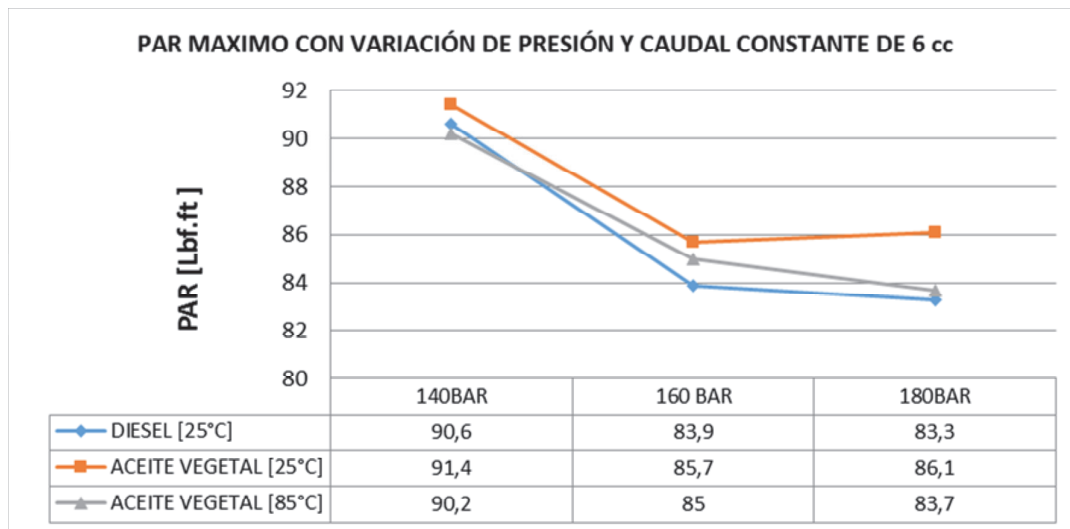


Figura 4.13 Par máximo con variación de presión y caudal 6cc en 100 carreras

(Elaboración: Propia)

Con un caudal de inyección de combustible de 6cc en 100 carreras se puede observar que a medida que se reduce la presión de apertura de inyector de 160 a 140 bar el par máximo obtenido aumenta un 7% en promedio para los tres combustibles. Por otro lado, a medida que se aumenta la presión de apertura de inyector de 160 a 180 bar el par máximo obtenido prácticamente se mantiene en el rango.

4.2.2.2 Análisis de Torque con variación de caudal

Se presentan y analizan los resultados obtenidos en torque a un caudal de inyección de 4cc en 100 carreras, 5cc en 100 carreras, 6cc en 100 carreras utilizando diésel a 25°C, aceite vegetal a 25°C y 85°C.

4.2.2.3 Análisis de Torque con variación de tiempo de inyección de combustible

En la figura 4.20 se presentan los resultados obtenidos para el torque con variaciones del tiempo de inyección, caudal de 5cc en 100 carreras y una presión constante de 180 bar.

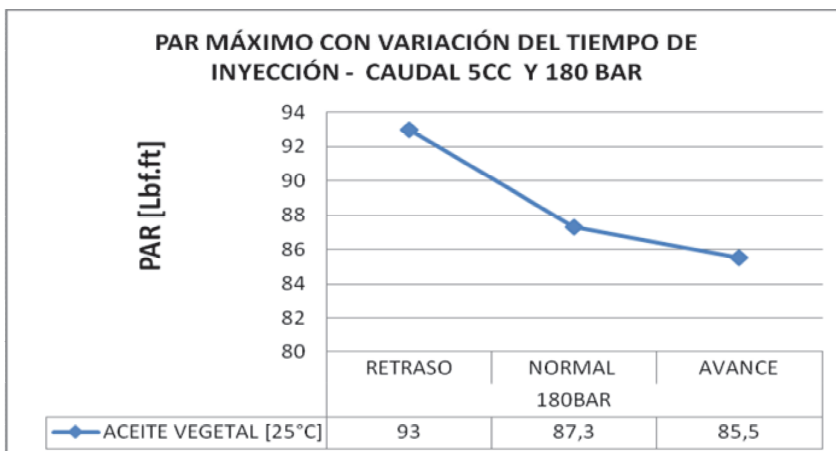


Figura 4.14 Par máximo con variación del tiempo de inyección de combustible.

(Elaboración: Propia)

Con una presión de inyección de 180 bar se puede observar que se tiene un par máximo o torque de 87,3 [HP] y al modificar el tiempo de inyección de combustible en sentido de avance a la inyección se obtiene una reducción en el par máximo o torque en 2% sin embargo si se retrasa el momento de inyección de combustible se tiene un aumento de 6%, siendo este el mayor par máximo obtenido en todas las condiciones de prueba.

4.3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE OPACIDAD.

4.3.1 ANÁLISIS A LA OPACIDAD.

En el cuadro comparativo de resultados indicaremos los resultados de opacidad obtenidos a caudales de 4cc en 100 carreras, 5cc en 100 carreras, 6cc en 100 carreras y presiones de inyección de 140 bar, 160 bar y 180 bar utilizando diésel a 25°C, aceite vegetal a 25°C y 85°C.

4.3.1.1 Análisis de opacidad con variación de presión inyección.

4.3.1.1.1 Análisis de opacidad con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 4cc en 100 carreras.

En la figura 4.21 se presentan los resultados obtenidos en la opacidad con presión de inyección de 140, 160, 180 bar y un caudal constante de 4cc en 100 carreras.

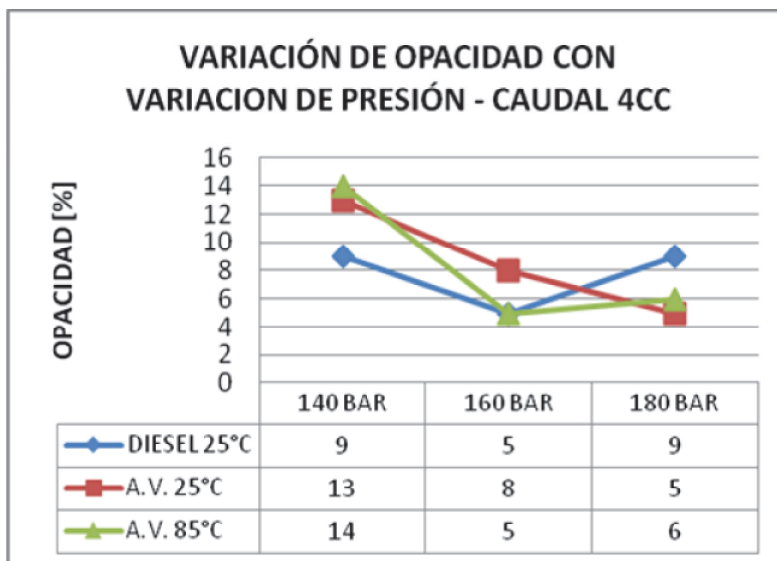


Figura 4.15 Opacidad con variación de presión y caudal 4cc.

(Elaboración: Propia)

La tendencia es que al aumentar la presión de inyección de combustible la opacidad disminuye. El valor más alto de opacidad es 14% en condiciones de 4cc en 100 carreras de entrega de combustible y con presiones de inyección de 140 bar, 160 bar y 180 bar, con aceite vegetal 85°C, sin embargo la opacidad se reduce a 5 % al realizar modificaciones en la presión de inyección.

4.3.1.1.2 Análisis de opacidad con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 5cc en 100 carreras.

En la figura 4.22 se presentan los resultados obtenidos para la opacidad con variaciones de presión. La medida base fue de 160 bar, con reducción a 140 bar y luego incremento a 180 bar, todo esto con un caudal constante de 5cc en 100 carreras.

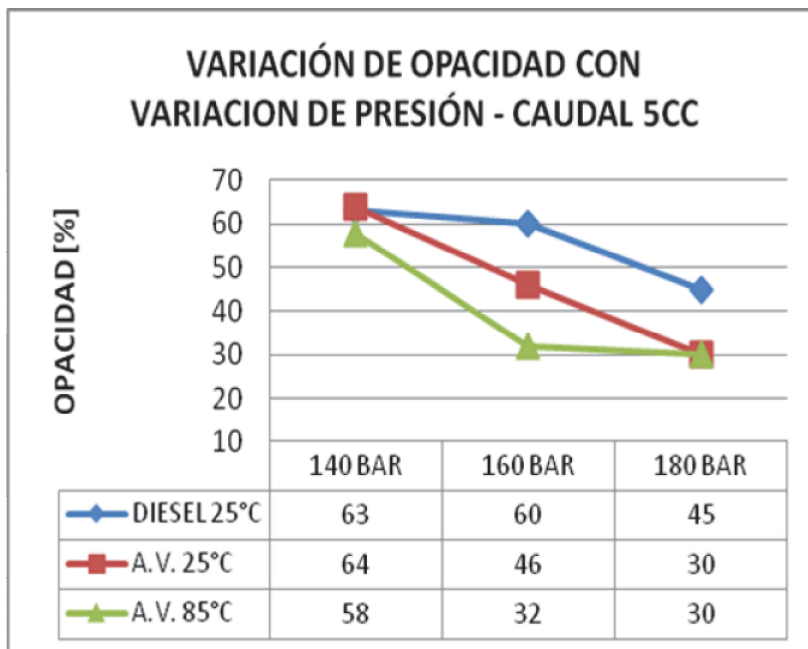


Figura 4.16 Opacidad con variación de presión de inyección y caudal 5cc en 100 carreras.

(Elaboración: Propia)

La tendencia es que al aumentar la presión de inyección de combustible la opacidad disminuye. El valor más alto de opacidad es 64% en condiciones de 5cc en 100 carreras de entrega de combustible y con presiones de inyección de 140 bar, con aceite vegetal 25°C, sin embargo la opacidad se reduce a 30 % al aumentar la presión de inyección a 180 bar y utilizar aceite vegetal 15°C y 85°C como combustible.

4.3.1.1.3 Análisis de opacidad con presión de inyección 140bar, 160 bar, 180 bar y caudal 6cc en 100 carreras.

En la figura 4.23 se presentan los resultados obtenidos en la opacidad con presión de inyección de 140, 160,180 bar y un caudal constante de 5cc en 100 carreras.

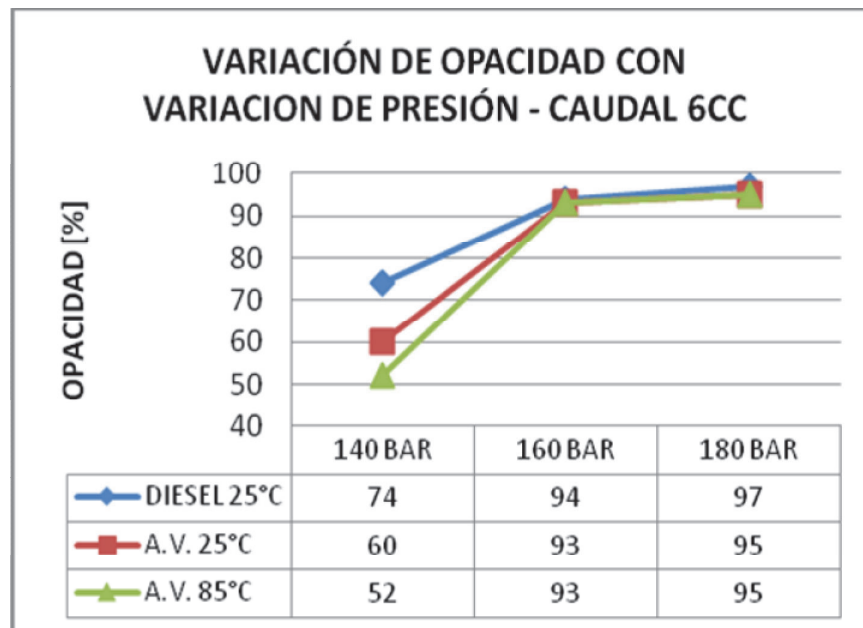


Figura 4.17 Opacidad con variación de presión de inyección y caudal 6cc en 100 carreras.

(Elaboración: Propia)

La tendencia con un caudal de combustible de 6cc en 100 carreras es que al aumentar la presión de inyección de combustible la opacidad también aumenta. El valor más bajo de opacidad es 52 % al utilizar aceite vegetal 85°C como combustible

El valor más alto de opacidad es 97% en condiciones de presión de inyección de 180 bares, con diésel 25 ° C, es decir existe un aumento de 46,4 % al aumentar la presión de inyección de 140 bar a 180 bar.

4.3.1.2 Análisis de opacidad con variación de tiempo de inyección de combustible

En la figura 4.27 se presentan los resultados obtenidos en la opacidad con variación en el tiempo de inyección de combustible, caudal de 5cc en 100 carreras y una presión constante de 180 bar.

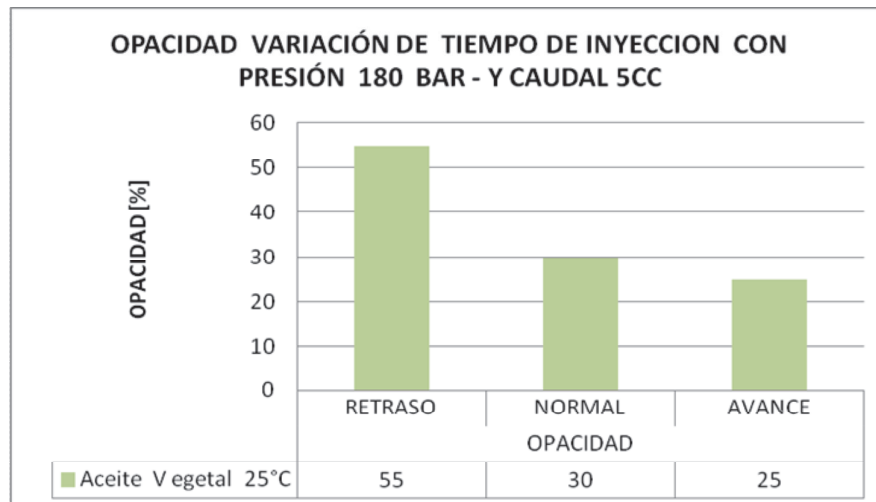


Figura 4.18. Opacidad con variación de tiempo de inyección.
(Elaboración: Propia)

La tendencia con un caudal de combustible de 5 cc en 100 carreras y al utilizar aceite vegetal a 25°C es que al modificar el tiempo de inyección de combustible en sentido de avance a la inyección se obtiene una reducción a 25%, sin embargo si retrasamos el momento de inyección de combustible tenemos un aumento a 55%.

OPACIDAD CON VARIACIÓN DEL CAUDAL Y VARIACION DE PRESIÓN										
COMBUSTIBLE	TEMP	140 BAR			160 BAR			180BAR		
		4 CC	5 CC	6 CC	4 CC	5 CC	6 CC	4 CC	5 CC	6 CC
DIESEL	[25°C]	9	63	74	5	60	94	9	45	97
ACEITE VEGETAL	[25°C]	13	64	60	8	46	93	5	30	95
ACEITE VEGETAL	[85°C]	14	58	52	5	32	93	6	30	95

Figura 4.19 Mejor opción en Opacidad según caudal y presión.
(Elaboración: Propia)

		140BAR			160 BAR			180BAR		
		4 CC EN 100 CARRERAS	5 CC EN 100 CARRERAS	6 CC EN 100 CARRERAS	4 CC EN 100 CARRERAS	5 CC EN 100 CARRERAS	6 CC EN 100 CARRERAS	4 CC EN 100 CARRERAS	5 CC EN 100 CARRERAS	6 CC EN 100 CARRERAS
DIÉSEL	POTENCIA	43,6	48,7	52,2	37,6	49,7	47	34,2	49	46,3
	OPACIDAD	9	63	74	5	60	94	9	45	97
ACEITE SIN CALENTAMIENTO	POTENCIA	41,0	49,2	52,8	35,7	48,6	47,8	32	51,5	50,8
	OPACIDAD	13	64	60	8	46	93	5	30	95
ACEITE CALENTADO	POTENCIA	43,1	49	51,9	34,8	50,1	47,5	33,5	46,7	46,9
	OPACIDAD	14	58	52	5	32	93	6	30	95

Figura 4.20 Mejor opción en Potencia y Opacidad de mediciones efectuadas
(Elaboración: Propia)

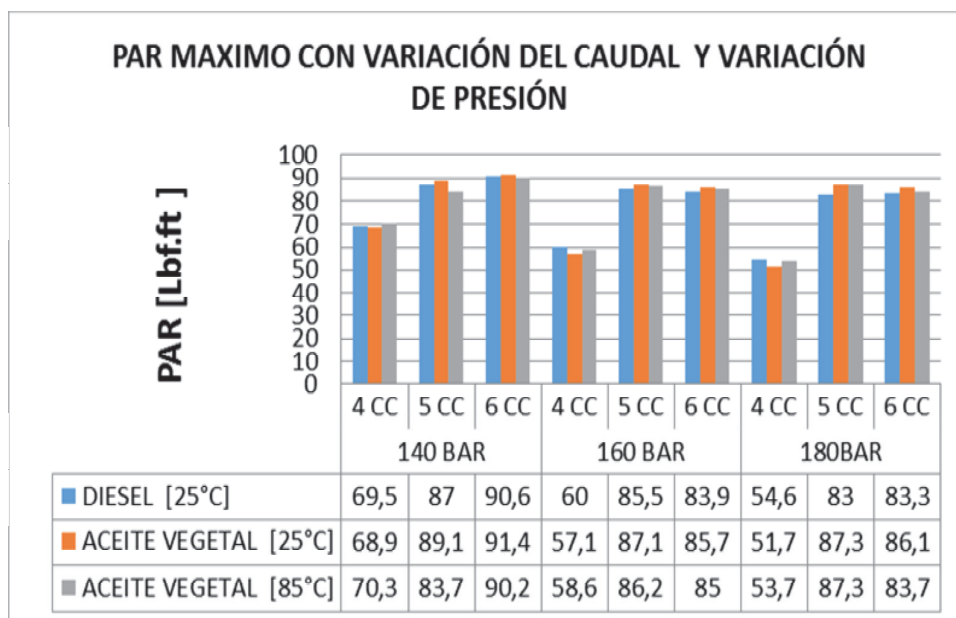


Figura 4.21 Mejor opción en Torque con variación de presión y caudal.
(Elaboración: Propia)

La mejor opción de torque según la gráfica es con un caudal de 6 cc en 100 carreras y una presión de 140 bar.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSIONES.

- A las condiciones de [25°C], 180 bar de presión de apertura de los inyectores, y 5cc en 100 carreras de entrega en el caudal de combustible, se presenta un aumento en la potencia de 49,7 [HP] a 50,8 [HP] y una reducción en la opacidad de 60% a 30% siendo esto la condición óptima de funcionamiento en términos de potencia normal y opacidad.
- De los análisis físicos-químicos se pudo establecer que el aceite vegetal tiene un índice de cetano de 38,3 comparado con el combustible diésel de 50,6 por lo que fue necesario a partir de la línea base esto es 160 bar de presión de apertura de los inyectores y 5cc en 100 carreras de entrega en el caudal de combustible, modificar el instante de inicio de inyección, para encontrar las condiciones de funcionamiento óptimas con aceite vegetal.
- Al elevar la presión de apertura de los inyectores se modifica el momento de inyección lo cual compensa al tener un índice de cetano bajo lo cual confirma el estudio realizado por (HAAG, 2007) el cual concluye que “sobre-tarando los inyectores, se retrasa el momento de la inyección”.
- El aceite vegetal puede ser utilizado como combustible en motores de combustión interna encendidos por compresión sin modificación alguna sin embargo necesita ser calentado a 25°C y aumentado la presión de inyección a 180 bar para tener un mejor rendimiento en términos de potencia y opacidad.

5.2 RECOMENDACIONES

- Al haberse encontrado un índice de corrosión a la lámina de cobre mayor en el aceite vegetal, se recomienda un estudio mas detallado y de larga duración para determinar el efecto del aceite vegetal en el sistema de inyección ya que principalmente es aquí donde el combustible sirve como lubricante y se halló bronce y cobre entre sus partes mecánicas tales como sellos y rodamientos

- Se recomienda una investigación de larga duración para determinar la acumulación de hollín, lacas y gomas en el sistema de inyección esto es bomba e inyectores y compararla con el diésel.
- Es recomendable que para futuras investigaciones estén orientadas hacia pruebas de otros tipos de aceite vegetal para poder ser comparadas con los resultados del estudio en aceite de piñon.
- El uso de aceite vegetal, puede ser una solución de reducción de opacidad en zonas urbanas, por lo que se recomienda la aplicación del aceite vegetal como combustible en el transporte público.
- Se recomienda realizar pruebas en motores de combustión interna con otros sistemas de inyección como son: common rail, bombas de inyección lineal, con sistema PLD inyector bomba para determinar cómo responden con este combustible
- Ya que el estudio fue realizado para un determinado modelo de vehículo, es necesario que se ejecuten pruebas con una muestra mayor de vehículos y así poder determinar si se requieren modificaciones adicionales para su uso con aceite vegetal.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUDELO, J. (2006). Caracterización de la combustión en un motor diésel. Colombia: CEAC.
- ALONSO, J. M. (2001). Sistemas de inyección de combustible en los motores diésel. Madrid, España: Paraninfo.
- ALTIN, C. (2001). The potential of using vegetable oil fuel as fuel for diésel engines. England.
- BHATTACHARYA, H. R. (1994). Vegetables oil as fuel for internal combustion engines. India.
- CASANOVA, J. (1994). Características de los bio-óleos de pirólisis comparadas con las de combustibles para motores diésel. España.
- CASTRO, M. (2002). Gestión electrónica de la inyección diésel. Barcelona, España: CEAC.
- CHANG DYZ, V. G. (1996). Fuel properties and emissions of soybean oil esteres as diésel fuel. Reino Unido.
- ELSBETT. (2009). Aceite Vegeta. España.
- FUENTES, J., LOPEZ, F., & CAMPS, M. (1985). Ensayos a larga duracion con aceite de oliva como combustible diésel. España.
- GONZÁLEZ, M. (2009). Alternativas para mejorar la calidad de los combustibles, Ministerio de Minas y Petróleos del Ecuador. Quito.
- GRUBER, G. (2014). Pure jatropa oil forpower generation on Floreana Island/Galapagos. Germany.
- HAAG, M. (2007). Mecánica des fleurs. Francia.
- LAGUE, C. (1987). Waste vegetable oil as a diésel fuel extender. Canada.
- LOPEZ, S. (1995). Los aceites vegetales como combustibles. España.
- MANCHENO, R. (1999). Control de calidad de combustibles liquidos. Riobamba.
- MASCHINENBAU, H. (2009). Bancos de potencia, funciones y prueba de gases. Germany.
- MILLARES, J. (1986). Motor diésel inyección y combustión. Barcelona, España: CEAC.
- MONTOYA, O. (2009). Prototipo de generador con maquina diésel alimentada con aceite vegetal. Mexico.

- MURAYAMA, T. (1994). Japan society mechanical engineer interntional journal. Japón.
- NAGAO, F. (1948). Japan society mechanicals engineers transactions. Japón.
- NAVARRO, R. (1997). Derivados de aceite de girasol como bicarburantes. España.
- NAZAR, J. (2004). Use of vegetable oils in diésel engines. India.
- NTE, I. (0927:84). Productos de petróleo: Deteminación de la viscosidad cinemática en liquidos transparentes opacos. Ecuador.
- OSTRO, B. (2000). La contaminación del aire y sus efectos en la salud. Santiago.
- PETERSON, V. (1986). Vegetable oil as a diésel fuel: status and research priorities. Estados Unidos.
- PRYDE, E. (1983). american oil chemisti's society. Estados Unidos.
- QUESADA, G. (2006). Cultivo e industria de la palma aceitera. Costa Rica: Infoagro.
- RAHEMAN, H. (2011). Effect of injection pressure on diésel engine perfomance based on experiment. India.
- SARADA, N. (2010). Optimization of injection pressure for a compression ignitionengine. India.
- SHAFER, A. (1995). The use of biofuel in modern diésel engines, proccedings of PORIM, Internatuional biofuel conference. Alemania.
- SIMS, R. (1985). Tallow esters as an alternative diésel fuel. Inglaterra.
- VILLALTA, J. (1986). Motor diésel inyección y combustión. España.

ANEXOS A1 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL MOTOR.

ANEXO A1.1 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE .

ANEXO A1.2 RESULTADO DE OPACIDAD.

ANEXO A1.3 RESULTADO EN PRUEBAS FÍSICO -QUÍMICAS.

ANEXO A1.1 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE .

Una vez realizado los procedimientos descritos y utilizando los métodos INEN NTE 0960 Vehículos automotores. Determinación de la potencia neta del motor, e INEN NTE 2 202:2000. Gestión ambiental aire vehículos automotores determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática método de aceleración libre, para los combustibles diésel y aceite vegetal se presentaron los siguientes datos experimentales:

ANEXO A1.1 .1 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 140 BAR – 4CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1 .1 .1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C - 140 Bar – 4cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Diésel - 25°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1614,00	27,30	10,90	19,40	21,30	69,30
1768,00	30,00	11,90	21,20	23,20	68,90
1938,00	32,80	12,90	23,10	25,30	68,60
2108,00	35,70	13,90	25,30	27,70	68,90
2277,00	38,60	14,50	27,00	29,50	68,00
2449,00	41,50	15,20	29,00	31,70	68,00
2617,00	44,30	15,70	30,70	33,60	67,40
2787,00	47,20	16,10	32,60	35,60	67,20
2959,00	50,10	16,70	34,40	37,70	66,90
3128,00	53,00	18,20	37,50	41,10	69,00
3298,00	55,90	18,90	39,90	43,60	69,50

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .1 .2 Resultados de potencia y torque: Aceite Vegetal 25°C - 140 Bar – 4cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1613,00	27,50	10,20	19,30	21,10	68,70
1769,00	30,20	11,00	20,90	22,90	68,10
1938,00	33,10	12,00	23,00	25,10	68,10
2109,00	36,00	13,10	25,20	27,60	68,80
2278,00	38,90	13,70	27,10	29,70	68,40
2447,00	41,80	14,00	28,60	31,40	67,30
2618,00	44,70	14,40	30,50	33,40	67,00
2788,00	47,60	15,00	32,20	35,20	66,30
2958,00	50,50	15,60	33,60	36,80	65,30
3129,00	53,40	16,10	35,60	39,00	65,40
3298,00	56,30	16,40	37,40	41,00	65,30

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .1 .3 Resultados de potencia y torque: Aceite Vegetal 85°C - 140 Bar – 4cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1614,00	27,60	11,00	19,70	21,50	70,10
1768,00	30,30	11,80	21,30	23,30	69,10
1939,00	33,20	13,00	23,50	25,70	69,80
2108,00	36,10	14,20	25,80	28,20	70,30
2278,00	39,00	14,70	27,40	30,00	69,20
2447,00	41,90	15,00	29,00	31,70	68,00
2618,00	44,90	15,50	30,80	33,80	67,70
2788,00	47,80	16,40	33,30	36,40	68,60
2959,00	50,70	16,90	35,20	38,50	68,30
3129,00	53,60	17,30	37,30	40,90	68,60
3298,00	56,50	17,60	39,40	43,20	68,80

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .2 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 140 BAR – 5CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1 .2.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C - 140 Bar – 5cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Diésel - 25°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1621,00	27,40	16,60	24,10	24,40	85,20
1770,00	29,90	17,90	26,20	26,70	84,80
1939,00	32,80	19,50	28,70	29,70	85,00
2110,00	35,70	20,90	31,20	32,60	84,90
2280,00	38,50	22,40	33,80	35,90	85,00
2450,00	41,40	24,40	36,80	39,50	86,20
2621,00	44,30	26,10	39,70	42,60	87,00
2790,00	47,20	27,20	41,90	45,00	86,30
2959,00	50,00	27,70	42,90	46,90	83,20
3128,00	52,90	27,60	44,00	48,50	80,70
3298,00	55,80	27,00	44,60	49,70	77,60

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .2.2 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 140 Bar – 5cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1621,00	27,90	17,10	24,80	27,00	87,60
1771,00	30,50	18,20	26,80	29,20	86,70
1940,00	33,40	19,90	29,40	32,20	87,10
2109,00	36,30	21,40	32,00	34,90	86,90
2280,00	39,20	23,20	35,00	38,20	88,00
2450,00	42,20	25,00	37,90	41,40	88,80
2620,00	45,10	26,50	40,70	44,40	89,10
2789,00	48,00	27,40	42,70	46,60	87,70
2959,00	50,90	27,70	43,50	47,40	84,20
3128,00	53,80	27,40	44,40	48,40	81,30
3298,00	56,70	26,80	45,00	49,20	78,30

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .2.1.3 Resultados de potencia y torque: Aceite Vegetal 85°C - 140 Bar – 5cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1614,00	27,50	12,20	22,90	24,90	81,00
1769,00	30,10	13,20	24,90	27,20	80,70
1938,00	33,00	14,50	27,50	29,90	81,10
2108,00	35,90	15,80	30,20	32,90	81,90
2278,00	38,80	17,10	32,90	35,80	82,60
2448,00	41,70	18,30	35,70	38,90	83,40
2619,00	44,60	19,30	38,30	41,70	83,70
2788,00	47,50	19,90	40,70	44,30	83,50
2958,00	50,40	20,50	43,00	46,90	83,20
3127,00	53,30	20,10	44,70	48,70	81,80
3297,00	56,20	19,70	46,50	50,70	80,80

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .3 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 140 BAR – 6CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1 .3.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C - 140 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Diésel - 25°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1613,00	27,70	14,00	24,30	26,60	86,40
1767,00	30,40	15,20	26,50	28,90	85,80
1938,00	33,30	16,70	29,10	31,80	86,10
2107,00	36,20	18,10	32,00	34,90	86,90
2278,00	39,20	19,80	35,20	38,40	88,40
2447,00	42,10	21,50	38,30	41,80	89,80
2617,00	45,00	23,10	41,40	45,10	90,60
2788,00	47,90	24,00	43,60	47,50	89,50
2957,00	50,80	24,50	45,10	49,20	87,30
3127,00	53,70	24,30	46,50	50,80	85,30
3297,00	56,70	23,90	47,90	52,20	83,20

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .3.2 Resultados de potencia y torque: Aceite Vegetal 25°C – 140 Bar – 6cc en 100 carreras.

CONDICIONES: 140 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1615,00	27,40	15,70	25,30	27,60	89,90
1769,00	30,00	16,90	27,30	29,90	88,80
1936,00	32,80	18,40	30,00	32,80	88,90
2108,00	35,70	19,90	32,70	35,80	89,20
2278,00	38,60	21,50	35,50	38,80	89,60
2449,00	41,50	23,20	38,60	42,20	90,50
2618,00	44,30	24,90	41,60	45,50	91,40
2788,00	47,20	25,90	44,10	48,30	91,00
2957,00	50,10	26,30	45,70	50,00	88,70
3127,00	53,00	26,20	47,20	51,70	86,80
3296,00	55,80	25,50	48,30	52,80	84,20

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .3.3 Resultados de potencia y torque: Aceite Vegetal 85°C - 140 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 140 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1615,00	27,30	14,50	24,60	26,90	87,50
1768,00	29,90	15,60	26,60	29,10	86,40
1939,00	32,80	17,20	29,30	32,10	86,90
2108,00	35,60	18,70	32,10	35,10	87,40
2278,00	38,50	20,20	34,80	38,10	87,80
2447,00	41,40	21,90	38,00	41,60	89,30
2618,00	44,30	23,50	41,10	44,90	90,20
2786,00	47,10	24,40	43,10	47,10	88,80
2957,00	50,00	24,90	44,60	48,80	86,70
3127,00	52,90	24,90	46,20	50,60	84,90
3296,00	55,70	24,50	47,50	51,90	82,70

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .4 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 160 BAR – 4CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1 .4.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C 160 Bar – 4cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Diésel - 25°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1612,00	27,70	7,90	16,20	17,70	57,60
1770,00	30,40	8,60	17,70	19,30	57,30
1939,00	33,30	9,40	19,50	21,30	57,70
2108,00	36,20	9,80	20,90	22,90	57,00
2278,00	39,10	10,10	22,30	24,40	56,20
2448,00	42,00	10,10	23,60	25,70	55,20
2619,00	45,00	10,40	25,10	27,50	55,00
2791,00	47,90	11,90	27,60	30,10	56,70
2962,00	50,90	13,00	29,40	32,10	56,90
3132,00	53,80	14,70	32,50	35,50	59,60
3299,00	56,70	15,30	34,50	37,70	60,00

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .4.2 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 160 Bar – 4cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1609,00	27,90	6,60	15,60	17,00	55,50
1769,00	30,60	7,00	16,80	18,40	54,60
1940,00	33,60	7,80	18,70	20,40	55,20
2109,00	36,50	7,90	19,90	21,80	54,30
2277,00	39,50	7,80	21,10	23,10	53,20
2446,00	42,40	8,10	22,60	24,70	53,10
2617,00	45,30	8,50	24,40	26,70	53,60
2788,00	48,30	9,20	26,30	28,70	54,10
2959,00	51,20	10,30	28,60	31,20	55,40
3129,00	54,20	11,30	31,10	34,00	57,00
3297,00	57,10	11,20	32,70	35,70	56,90

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .4.3 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 85°C - 160 Bar – 4cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1610,00	28,10	7,90	16,30	17,80	58,20
1769,00	30,90	8,60	17,80	19,50	57,90
1939,00	33,80	9,60	19,80	21,60	58,60
2107,00	36,80	9,70	21,00	23,00	57,30
2278,00	39,80	9,60	22,00	24,10	55,50
2449,00	42,70	9,90	23,50	25,80	55,20
2620,00	45,70	10,20	25,20	27,60	55,20
2790,00	48,70	11,20	27,20	29,80	56,10
2961,00	51,70	12,20	29,10	31,80	56,40
3130,00	54,60	12,40	30,70	33,50	56,30
3298,00	57,60	12,20	31,90	34,90	55,50

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1 .5 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 160 BAR – 5CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1 .5.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C - 160 Bar – 5cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Diésel - 25°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1620,00	27,70	14,30	22,30	24,40	79,20
1771,00	30,30	15,50	24,40	26,70	79,20
1940,00	33,20	17,20	27,20	29,70	80,40
2110,00	36,10	18,70	29,80	32,60	81,20
2280,00	39,00	20,50	32,90	35,90	82,80
2451,00	41,90	22,60	36,10	39,50	84,70
2620,00	44,80	24,10	39,00	42,60	85,50
2789,00	47,70	25,00	41,20	45,00	84,80
2959,00	50,60	25,60	42,90	46,90	83,20
3129,00	53,50	25,50	44,30	48,50	81,30
3298,00	56,40	25,10	45,50	49,70	79,20

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.5.2 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 160 Bar – 5cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1620,00	27,70	15,60	23,20	25,40	82,30
1771,00	30,30	17,00	25,50	27,90	82,60
1940,00	33,20	18,80	28,20	30,80	83,40
2110,00	36,10	20,30	30,80	33,70	83,80
2280,00	39,00	22,10	33,70	36,80	84,80
2450,00	42,00	24,10	36,80	40,30	86,40
2620,00	44,90	25,70	39,70	43,40	87,10
2790,00	47,80	26,60	41,70	45,60	85,80
2959,00	50,70	27,20	42,70	46,70	82,90
3128,00	53,60	27,20	43,80	47,90	80,50
3298,00	56,50	26,60	44,50	48,70	77,50

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.5.3 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 85°C - 160 Bar – 5cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1622,00	27,70	14,80	22,60	24,70	80,10
1771,00	30,20	16,30	24,90	27,30	80,90
1941,00	33,10	18,10	27,70	30,30	82,00
2110,00	36,00	19,70	30,50	33,40	83,00
2280,00	38,90	21,50	33,30	36,50	84,00
2450,00	41,80	23,40	36,40	39,80	85,40
2620,00	44,70	25,00	39,30	43,00	86,20
2789,00	47,60	25,80	41,50	45,40	85,40
2959,00	50,50	26,40	43,40	47,40	84,20
3129,00	53,40	26,50	44,80	49,00	82,20
3298,00	56,30	26,00	45,90	50,20	79,90

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.6 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 160 BAR – 6CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1.6.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C - 160 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Diésel - 25°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1612,00	27,90	11,30	21,80	23,90	77,70
1767,00	30,60	12,10	23,60	25,80	76,80
1939,00	33,60	13,60	26,30	28,80	78,00
2109,00	36,50	14,70	28,90	31,60	78,70
2279,00	39,50	16,10	31,80	34,80	80,10
2449,00	42,40	18,10	35,40	38,70	82,90
2619,00	45,30	19,60	38,30	41,80	83,90
2789,00	48,30	20,50	40,20	43,90	82,70
2958,00	51,20	20,40	41,40	45,20	80,30
3126,00	54,10	19,80	42,50	46,40	78,00
3296,00	57,10	18,50	43,00	47,00	74,90

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.6.2 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 160 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1614,00	27,50	13,30	23,20	25,40	82,70
1767,00	30,10	14,20	25,10	27,50	81,70
1938,00	33,00	15,50	27,50	30,10	81,60
2108,00	35,90	16,80	30,10	33,00	82,10
2278,00	38,80	18,10	32,80	35,90	82,70
2448,00	41,70	19,90	35,90	39,30	84,20
2617,00	44,60	21,40	39,00	42,70	85,60
2789,00	47,50	22,40	41,20	45,10	84,90
2957,00	50,30	22,30	42,10	46,10	81,80
3126,00	53,20	21,70	43,20	47,30	79,40
3296,00	56,10	20,50	43,70	47,80	76,30

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.6.3 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 85°C - 160 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 160 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1613,00	27,50	12,40	22,70	24,80	80,90
1768,00	30,20	13,20	24,50	26,90	79,80
1939,00	33,10	14,60	27,00	29,60	80,10
2108,00	36,00	15,80	29,60	32,40	80,70
2279,00	38,90	17,30	32,50	35,60	82,00
2450,00	41,80	19,10	35,70	39,10	83,70
2618,00	44,70	20,70	38,70	42,40	85,00
2789,00	47,60	21,50	40,40	44,10	83,10
2957,00	50,50	21,80	42,20	46,10	81,90
3127,00	53,40	21,20	43,20	47,30	79,40
3296,00	56,30	19,70	43,50	47,50	75,80

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.7 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 180 BAR – 4CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1.7.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C - 180 Bar – 4cc en 100 carreras

CONDICIONES: 180 bar - Diésel - 25°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1610,00	28,00	4,80	13,10	14,30	46,50
1765,00	30,70	4,80	14,10	15,40	45,70
1938,00	33,70	5,60	15,90	17,40	47,10
2106,00	36,60	5,80	17,30	18,90	47,00
2275,00	39,50	5,50	18,30	20,00	46,20
2447,00	42,50	5,80	19,90	21,80	46,70
2618,00	45,50	6,90	22,30	24,40	48,90
2789,00	48,50	8,20	24,60	26,90	50,60
2959,00	51,40	8,90	26,20	28,70	50,90
3130,00	54,40	10,60	29,30	32,00	53,70
3298,00	57,30	11,20	31,40	34,30	54,60

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.7.2 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 180 Bar – 4cc en 100 carreras.

CONDICIONES: 180 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1610,00	27,80	5,20	13,80	15,10	49,20
1768,00	30,60	5,70	15,10	16,60	49,20
1938,00	33,50	6,40	16,70	18,30	49,70
2106,00	36,40	6,30	17,70	19,40	48,40
2275,00	39,40	6,00	18,70	20,40	47,20
2446,00	42,30	6,30	20,20	22,10	47,50
2618,00	45,30	6,90	22,10	24,20	48,60
2789,00	48,20	7,90	23,80	26,10	49,10
2959,00	51,20	9,10	26,00	28,50	50,50
3128,00	54,10	9,80	28,10	30,80	51,70
3297,00	57,00	9,50	29,30	32,10	51,10

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.7.3 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 85°C - 180 Bar – 4cc en 100 carreras.

CONDICIONES: 180 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 4cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1610,00	27,70	5,40	13,90	15,20	49,40
1768,00	30,50	5,90	15,10	16,50	49,20
1937,00	33,40	6,50	16,70	18,30	49,60
2106,00	36,30	6,40	17,80	19,50	48,50
2275,00	39,20	6,10	18,60	20,30	46,90
2446,00	42,20	6,40	20,10	22,00	47,30
2617,00	45,10	7,00	22,10	24,20	48,50
2788,00	48,00	7,80	24,30	26,50	50,00
2960,00	51,00	9,10	26,80	29,30	51,90
3129,00	53,90	10,00	29,20	31,90	53,60
3296,00	56,80	9,70	30,60	33,50	53,40

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.8 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 180 BAR – 5CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1.8.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C- 180 Bar – 5cc en 100 carreras.

CONDICIONES: 180 bar - Diésel - 25°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1620,00	27,20	13,60	21,80	23,80	77,20
1771,00	29,70	15,00	24,10	26,30	78,00
1940,00	32,50	16,60	26,70	29,20	79,00
2110,00	35,40	18,10	29,30	32,00	79,70
2280,00	38,20	19,70	32,00	35,00	80,60
2451,00	41,10	21,40	34,90	38,20	81,80
2620,00	43,90	23,00	37,80	41,30	82,80
2789,00	46,70	24,10	40,30	44,10	83,00
2960,00	49,60	24,80	42,30	46,30	82,10
3129,00	52,40	24,70	43,70	47,70	80,10
3298,00	55,30	24,40	44,90	49,10	78,10

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.8.2 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 180 Bar – 5cc en 100 carreras

CONDICIONES: 180 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1620,00	27,70	15,40	23,60	25,80	83,60
1771,00	30,30	16,80	25,90	28,30	83,90
1939,00	33,20	18,30	28,50	31,10	84,30
2110,00	36,10	19,80	31,10	34,00	84,50
2280,00	39,10	21,50	33,9	37,00	85,30
2450,00	42,00	23,30	37,00	40,40	86,50
2620,00	44,90	24,80	39,90	43,50	87,20
2789,00	47,80	25,50	42,40	46,30	87,20
2959,00	50,70	25,80	44,30	48,40	85,90
3129,00	53,60	25,70	46,00	50,30	84,40
3298,00	56,50	24,90	47,20	51,50	82,00

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.8.3 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 85°C - 180 Bar – 5cc en 100 carreras.

CONDICIONES: 180 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 5cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1619,00	28,20	15,40	23,80	26,00	84,20
1771,00	30,90	16,80	26,10	28,50	84,50
1940,00	33,80	18,40	28,80	31,40	85,00
2110,00	36,80	19,90	31,50	34,30	85,40
2280,00	39,80	21,70	34,40	37,50	86,50
2450,00	42,70	23,30	37,30	40,70	87,30
2620,00	45,70	24,60	39,80	43,40	87,00
2789,00	48,60	25,20	41,20	45,00	84,70
2959,00	51,60	25,30	42,00	45,80	81,40
3128,00	54,50	24,40	42,40	46,30	77,70
3299,00	57,50	23,60	42,80	46,70	74,30

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.8.4 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 180 Bar – 5cc en 100 carreras – Avance en la inyección en 100 carreras.

CONDICIONES: 180 bar - Aceite vegetal 25°C - 5cc en 100 carreras - Avance Inyección.					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1618,00	27,40	13,20	23,50	25,70	83,50
1769,00	30,00	14,30	25,70	28,00	83,10
1938,00	32,90	15,80	28,30	30,80	83,50
2108,00	35,70	17,10	30,90	33,70	83,90
2279,00	38,60	18,60	33,80	36,80	84,90
2448,00	41,50	19,90	36,50	39,90	85,50
2618,00	44,40	20,70	38,80	42,40	85,00
2788,00	47,30	21,40	40,60	44,30	83,40
2957,00	50,10	22,10	42,50	46,40	82,40
3126,00	53,00	21,70	43,80	47,80	80,30
3297,00	55,90	20,90	44,80	48,90	77,90

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.8.5 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 180 Bar – 5cc en 100 carreras – Retardo en la inyección

CONDICIONES: 180 bar - Aceite vegetal 25°C - 5cc en 100 carreras - Retardo Inyección.					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1615,00	27,80	15,30	25,50	27,80	90,50
1768,00	30,40	16,50	27,60	30,20	89,60
1937,00	33,40	18,10	30,30	33,10	89,80
2108,00	36,30	19,60	33,20	36,20	90,30
2277,00	39,20	21,30	36,20	39,50	91,10
2449,00	42,20	23,10	39,50	43,10	92,40
2618,00	45,10	24,50	42,40	46,30	92,90
2787,00	48,00	25,00	44,50	48,60	91,60
2957,00	50,90	25,40	46,20	50,50	89,60
3126,00	53,80	24,90	47,60	52,00	87,30
3296,00	56,80	24,00	48,60	53,10	84,70

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.9 RESULTADO DE POTENCIA Y TORQUE A 180 BAR – 6CC EN 100 CARRERAS.

ANEXO A1.1.9.1 Resultados de potencia y torque: Diésel 25°C - 180 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 180 bar - Diésel - 25°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1613,00	27,30	13,00	22,70	24,80	80,90
1767,00	29,90	13,70	24,40	26,70	79,20
1939,00	32,80	15,10	26,80	29,30	79,40
2108,00	35,70	16,20	29,10	31,90	79,40
2279,00	38,60	17,60	31,90	34,90	80,40
2448,00	41,50	19,30	34,90	38,20	82,00
2619,00	44,40	21,00	38,00	41,50	83,30
2788,00	47,20	22,00	40,10	43,80	82,60
2958,00	50,10	22,10	41,20	45,00	79,90
3126,00	52,90	21,20	41,80	45,70	76,70
3296,00	55,80	20,20	42,30	46,30	73,80

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.9.2 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 25°C - 180 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 180 bar - Aceite Vegetal - 25°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1613,00	27,30	7,90	21,90	24,00	78,10
1769,00	29,90	8,70	24,10	26,40	78,40
1939,00	32,80	9,90	26,80	29,30	79,30
2109,00	35,60	10,90	29,50	32,30	80,40
2280,00	38,50	12,00	32,40	35,50	81,70
2450,00	41,40	13,40	35,90	39,30	84,20
2619,00	44,30	14,70	39,20	42,90	86,10
2788,00	47,10	15,20	41,60	45,50	85,70
2958,00	50,00	15,00	43,70	47,80	84,90
3127,00	52,90	14,10	45,30	49,50	83,20
3297,00	55,70	12,70	46,50	50,90	81,00

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.1.9.3 Resultados de potencia y torque: Aceite vegetal 85°C - 180 Bar – 6cc en 100 carreras

CONDICIONES: 180 bar - Aceite Vegetal - 85°C - 6cc en 100 carreras					
(n)	(v)	Prueba	Pmotor	Pnormal	Mnormal
[rpm]	[mph]	[hp]	[hp]	[hp]	[Lbf.ft]
1613,00	27,80	8,50	22,30	24,40	79,40
1769,00	30,50	9,20	24,30	26,60	78,90
1938,00	33,40	10,10	26,70	29,20	79,00
2108,00	36,30	10,90	29,10	31,80	79,30
2280,00	39,30	12,00	32,00	35,00	80,60
2450,00	42,20	13,60	35,30	38,60	82,80
2619,00	45,10	15,00	38,20	41,70	83,60
2788,00	48,00	15,20	39,60	43,30	81,60
2958,00	51,00	14,80	41,00	44,80	79,60
3128,00	53,90	14,10	42,20	46,10	77,40
3297,00	56,80	12,90	42,90	46,90	74,70

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2 RESULTADO DE OPACIDAD.

Para obtener datos de opacidad se han contratado los servicios del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional para realizar dicho trabajo.

El uso del analizador de gases se hace para determinar la calidad de la combustión. En las tablas a continuación se detallan los resultados obtenidos para el diésel y aceite vegetal según norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 202:2000. Gestión ambiental aire vehículos automotores determinación de la opacidad de emisiones de escape de motores de diésel mediante la prueba estática método de aceleración libre

En el cuadro comparativo de resultados indicaremos los resultados de opacidad obtenidos a caudales de 4cc en 100 carreras, 5cc en 100 carreras, 6cc en 100 carreras y presiones de inyección de 140 bar, 160 bar y 180 bar utilizando diésel a 25°C, aceite vegetal a 25°C y 85°C.

ANEXO A1.2.1 RESULTADO DE OPACIDAD A 140 BAR.

ANEXO A1.2.1.1 Resultados de opacidad a 140 Bar – 4cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 140 - BAR CAUDAL 4CC EN 100 CARRERAS

	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	7	13	14
MEDICIÓN 2	9	13	12
MEDICIÓN 3	8	11	13
DESVIACIÓN MAXIMA	2	2	2
VALOR MEDIO	8	12	58

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.1.2 Resultados de opacidad a 140 Bar – 5cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 140 - BAR CAUDAL 5CC EN 100 CARRERAS			
	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	61	68	59
MEDICIÓN 2	65	63	59
MEDICIÓN 3	63	60	56
DESVIACIÓN MAXIMA	4	8	3
VALOR MEDIO	63	64	58

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.1.3 Resultados de opacidad a 140 Bar – 6cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 140 - BAR CAUDAL 6CC EN 100 CARRERAS			
	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	75	58	55
MEDICIÓN 2	74	58	52
MEDICIÓN 3	74	61	52
DESVIACIÓN MAXIMA	1	3	3
VALOR MEDIO	74	59	53

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.2 RESULTADO DE OPACIDAD A 160 BAR.**ANEXO A1.2.2.1** Resultados de opacidad a 160 Bar – 4cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 160 - BAR CAUDAL 4CC EN 100 CARRERAS			
	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	5	8	5
MEDICIÓN 2	5	9	5
MEDICIÓN 3	5	7	5
DESVIACIÓN MAXIMA	0	2	0
VALOR MEDIO	5	8	5

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.2.2 Resultados de opacidad a 160 Bar – 5cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 160 - BAR CAUDAL 5CC EN 100 CARRERAS
--

	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	57	45	37
MEDICIÓN 2	61	49	29
MEDICIÓN 3	61	43	31
DESVIACIÓN MAXIMA	4	6	8
VALOR MEDIO	60	46	32

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.2.3 Resultados de opacidad a 160 Bar – 6cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 160 - BAR CAUDAL 6CC EN 100 CARRERAS
--

	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	93	91	91
MEDICIÓN 2	94	93	93
MEDICIÓN 3	95	95	95
DESVIACIÓN MAXIMA	2	4	3
VALOR MEDIO	94	93	93

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.3 RESULTADO DE OPACIDAD A 180 BAR.**ANEXO A1.2.3.1** Resultados de opacidad a 180 Bar – 4cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 180 - BAR CAUDAL 4CC EN 100 CARRERAS
--

	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	9	5	6
MEDICIÓN 2	11	5	6
MEDICIÓN 3	7	5	5
DESVIACIÓN MAXIMA	4	0	1
VALOR MEDIO	9	5	6

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.3.2 Resultados de opacidad a 180 Bar – 5cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 180 - BAR CAUDAL 5CC EN 100 CARRERAS
--

	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	43	37	27
MEDICIÓN 2	47	27	33
MEDICIÓN 3	45	25	29
DESVIACIÓN MAXIMA	4	12	6
VALOR MEDIO	45	30	30

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.2.3.3 Resultados de opacidad a 180 Bar – 6cc en 100 carreras.

PRESIÓN APERTURA DE INYECTOR 180 - BAR CAUDAL 6CC EN 100 CARRERAS
--

	DIÉSEL	ACEITE VEGETAL	
	25°C	25°C	85°C
MEDICIÓN 1	96	92	93
MEDICIÓN 2	97	95	95
MEDICIÓN 3	98	90	97
DESVIACIÓN MAXIMA	2	8	4
VALOR MEDIO	97	95	95

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3 RESULTADOS EN PRUEBAS FÍSICO – QUÍMICAS.

Las pruebas y análisis fueron realizadas en el Laboratorio de Control de Calidad de PETROCOMERCIAL de la ciudad de Riobamba el cual cuenta con la infraestructura y los equipos necesarios para determinar propiedades básicas de los hidrocarburos estudiados en el presente proyecto de investigación.

En mencionado laboratorio se realizaron las siguientes pruebas o ensayos.

- Punto de inflamación.
- Densidad API y gravedad específica.
- Destilación ASTM.
- Índice de cetano calculado.
- Corrosión a la lámina de cobre.
- Viscosidad cinemática.

ANEXO A1.3.1 RESULTADOS OBTENIDOS DESTILACIÓN

Una vez realizado los procedimientos descritos y utilizando los métodos ASTM D-86:00 Standard Test Method for Distillation of Petroleum Products at Atmospheric Pressure e INEN NTE 0926:84 Productos de Petróleo: Ensayo de Destilación, para Diésel y aceite vegetal presentaron los siguientes datos experimentales:

ANEXO A1.3.1.1 Temperatura experimental del la destilación.

DESTILACIÓN [%]	DIÉSEL [°C]	ACEITE VEGETAL [°C]
P.I.E.	166	162
10	210	214
20	225	234
30	240	253
40	255	267
50	269	283
60	282	295
70	296	305
80	312	216
90	334	336

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3.1.2 Temperatura corregida de la destilación del diésel.

DESTILACIÓN	DIÉSEL			
	VOLUMEN [% ml]	TEMPERATURA EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR DE CORRECCIÓN [°C]	TEMPERATURA CORREGIDA [°C]
PIE		166	28,31	194,3
10		210	12,64	222,6
20		225	13,03	238,0
30		240	13,42	253,4
40		255	13,81	268,8
50		269	14,18	283,2
60		283	14,54	297,5
70		296	14,89	310,9
80		312	15,30	327,3
90		334	15,88	349,9

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3.1.3 Temperatura corregida de la destilación del Aceite vegetal

DESTILACIÓN	ACEITE VEGETAL			
	VOLUMEN [% ml]	TEMPERATURA EXPERIMENTAL [°C]	FACTOR DE CORRECCIÓN [°C]	TEMPERATURA CORREGIDA [°C]
PIE		162	11,38	173,4
10		214	12,74	226,7
20		234	13,26	247,3
30		253	13,76	266,8
40		267	14,13	281,1
50		283	14,54	297,5
60		295	14,86	309,9
70		305	15,12	320,1
80		316	15,41	331,4
90		336	15,93	351,9

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3.2 RESULTADOS OBTENIDOS PUNTO DE INFLAMACIÓN.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-93: Standard Test Methods for Flash-Point by Pensky Martens

Closed Cup Tester. e INEN NTE 1047:84 Productos de Petróleo Punto de Inflamación en copa cerrada Método TAG.

ANEXO A1.3.2.1 Punto inflamación experimental.

COMBUSTIBLE	PUNTO INFLAMACIÓN EXPERIMENTAL OBSERVADO [�C]
DIÉSEL	61
ACEITE VEGETAL	273

(Elaboración: Propia)

PARA DIÉSEL $PIC = 61 + 0,033 (760-542) = 68,2 \text{  C}$
 PARA ACEITE VEGETAL $PIC = 272 + 0,033 (760-542) = 279,2 \text{  C}$

ANEXO A1.3.2.2 Punto inflamación corregido.

COMBUSTIBLE	PUNTO INFLAMACIÓN EXPERIMENTAL [�C]	FACTOR CORRECCION	PUNTO INFLAMACION CORREGIDO [�C]
DIÉSEL	61	7,2	68,2
ACEITE VEGETAL	272	7,2	279,2

(Elaboración: Propia)

**ANEXO A1.3.3 RESULTADOS OBTENIDOS DENSIDAD API Y GRAVEDAD
ESPECÍFICA.**

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo utilizando los métodos ASTM D-1298:99 Standard Test method for Density, Specific Gravity, or API Gravity of Crude Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method e NTE 2319:01 Productos derivados de Petróleo: Determinación de la densidad API, para diésel y aceite vegetal presentaron los siguientes datos experimentales:

ANEXO A1.3.3.1 Densidad API Experimental.

COMBUSTIBLE	°API EXPERIMENTAL [° API]	TEMPERATURA AMBIENTE [°F]
DIÉSEL	35,4	64
ACEITE VEGETAL	25	60

(Elaboración: Propia)

Se proceden a realiza las correcciones a 60 °F de cada uno de los combustibles mediante. (ver ANEXO I), en donde habrá la necesidad en ciertos casos de interpolar los datos para obtener valores más exactos.

ANEXO A1.3.3.2 Densidad API 60°F.

COMBUSTIBLE	°API GRAVITY [60°F]
DIÉSEL	35,1
ACEITE VEGETAL	25

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3.3.2 Cálculo gravedad específica.

- Para el diésel , con API de 35,1 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{35,1 + 131.5} = 0.8493$$

- Para el aceite vegetal, con API de 23.0 la gravedad específica es la siguiente:

$$GSP = \frac{141.5}{25,0 + 131.5} = 0.9041$$

COMBUSTIBLE	GRAV. ESPECIFICA [60°F]
DIÉSEL	0,8493
ACEITE VEGETAL	0,9041

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3.4 RESULTADOS OBTENIDOS ÍNDICE DE CETANO

Se utilizaron los métodos ASTM D-976:1995 Standard test Methods for Calculated Cetane Index of Distillate Fuels e INEN NTE 1495:87 Productos derivados de Petróleo: Determinación del índice de cetano calculado:

Se utilizaron los valores de destilación ASTM del diésel y aceite vegetal de recuperado mostrados en la tabla:

COMBUSTIBLE	TEMP DESTILACIÓN 50% [°F]	GRAVEDAD API 60°F
DIÉSEL	541,76	35,1
ACEITE VEGETAL	566,6	25

(Elaboración: Propia)

Con estos datos utilizamos dos métodos para el cálculo del índice de cetano, haciendo uso del ábaco o la fórmula para el cálculo del índice de cetano:

ANEXO A1.3.4.1 Método de fórmula

Para determinar el valor del índice de cetano se utiliza la formula:

$$CI = -420,34 + 0,016G^2 + 0,192G\text{Log}M + 65,10(\text{Log}M)^2 - 0,0001809M^2$$

Donde:

CI = Índice de cetano calculado.

G = Gravedad API.

M = Temperatura de destilación al 50% de volumen recuperado. °F

Luego de aplicar la formula se obtuvo el siguiente resultado para índice de cetano calculado para el combustible diésel.

$$CI = -420,34 + 0,016(35,1)^2 + 0,192(35,1) \text{Log}541,76 + 65,10(\text{Log}541,76)^2 - 0,0001809(541,76)^2$$

$$CI = 50,6$$

Al aplicar la formula se obtuvo el siguiente resultado para índice de cetano calculado para el combustible aceite vegetal.

$$CI = -420,34 + 0,016(25)^2 + 0,192(25) \text{Log}535,5 + 65,10(\text{Log}535,5)^2 - 0,0001809(535,5)^2$$

$$CI = 38,3$$

ANEXO A1.3.4.2 Método de ábaco

Se determina el índice de cetano en el ábaco, ubicando los valores de densidad API y de temperatura del 50% de recuperado de la muestra para el aceite vegetal y diésel.

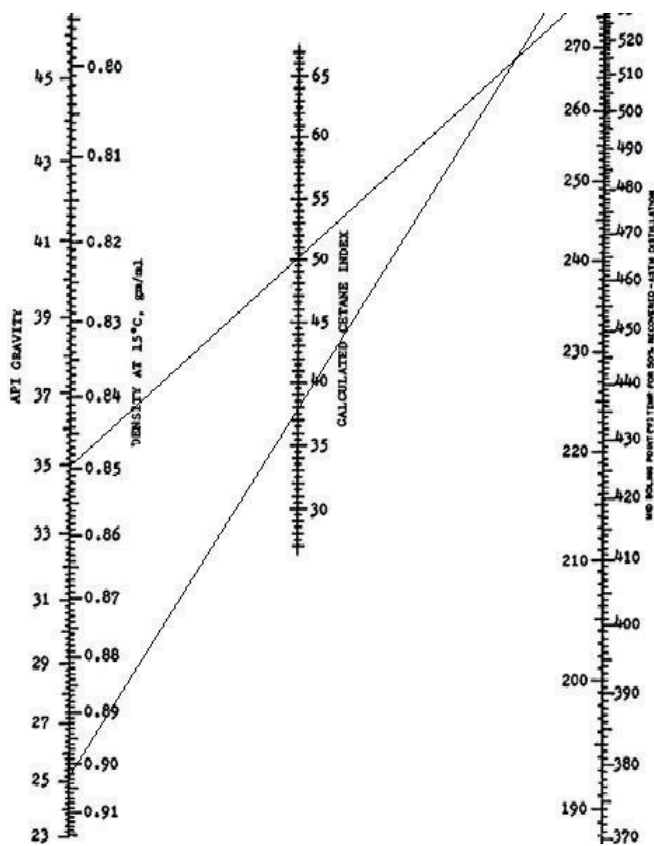


Tabla 0.1 Índice de cetano.

COMBUSTIBLE	INDICE CETANO
DIÉSEL	50,6
ACEITE VEGETAL	38,3

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3.5 RESULTADOS OBTENIDOS CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-130 Standard Test Method for Detection of Copper Corrosión from Petroleum Products by the Copper Strip Tarnish Test. e INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la corrosión sobre lamina de cobre, para el diésel y aceite vegetal presentaron los siguientes datos experimentales:

Tabla 0.2 Corrosión a la lámina de cobre.

COMBUSTIBLE	CORROSIÓN
DIÉSEL	1a
ACEITE VEGETAL	1a

(Elaboración: Propia)

ANEXO A1.3.6 RESULTADOS VISCOSIDAD CINEMÁTICA.

Una vez realizado los procedimientos descritos en el capítulo 3 utilizando los métodos ASTM D-445 Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids. e INEN NTE 0927:84 Productos de Petróleo: Determinación de la viscosidad cinemática en líquidos transparentes y opacos para diésel y aceite vegetal presentaron los siguientes datos experimentales:

COMBUSTIBLE	TEMP °C	TIEMP. EXP. (seg)	CONS. VISCOC.	VISCOSIDAD (Cst)
DIÉSEL	30	271	0,01351	3,66
ACEITE DE PIÑON	30	5900	0,01351	79,71
ACEITE DE PIÑON	80	430	0,01351	5,81
ACEITE DE PIÑON	100	330	0,01351	4,46

(Elaboración: Propia)