

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

EXTENSIÓN LATACUNGA



CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TEMA:

“INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA, COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5 -10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL”

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AUTOMOTRIZ

ELABORADO POR:

PROAÑO MOLINA PAOLA MARIELA

Latacunga, junio 2010.

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de investigación fue desarrollado por **Paola Mariela Proaño Molina**, bajo nuestra supervisión.

ING. LUIS MENA
DIRECTOR DEL PROYECTO

ING. GERMÁN ERAZO
CODIRECTOR DEL PROYECTO

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICADO

ING. LUIS MENA (DIRECTOR)

ING. GERMÁN ERAZO (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA, COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5 -10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL**” realizado por la señorita Paola Mariela Proaño Molina ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de **UN** empastado y **UN** disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat. Autorizan a la señorita Paola Mariela Proaño Molina que lo entregue al Ing. Juan Castro, en su calidad de Director de Carrera.

Latacunga, junio del 2010.

ING. LUIS MENA

DIRECTOR

ING. GERMÁN ERAZO

CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Paola Mariela Proaño Molina.

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado **“INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA, COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5 -10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL”** ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, junio del 2010.

Paola Mariela Proaño Molina.

C.I. 050315852-9

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, Paola Mariela Proaño Molina

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo **“INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA, COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5 -10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Latacunga, junio del 2010.

Paola Mariela Proaño Molina.

C.I. 050315852-9

DEDICATORIA

A MIS PADRES.

A MARCIA, IRMA Y PAÚL.

A MI BUEN AMIGO LUISITO.

A MI FAMILIA.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por bendecirme con una vida plena y llena de triunfos, a mi querida Mamá Gladys quien es mi mejor amiga y consejera; a mi papito Luis por su apoyo incondicional, a mis hermanas Marcia, Irma y Paúl, a Luisito por ser un amigo de verdad, al Ing. Luis Mena, mi Director de Tesis, al Ing. Germán Erazo y a todos mis maestros y compañeros, por los momentos inolvidables que compartimos, los cuales siempre recordaré.

Del mismo modo a PROYCOMTEC, por facilitar el aceite de ricino grado industrial, coordinado por el Ing. Fausto Álvarez Sánchez.

Así mismo al Dr. César Cruz por su valiosa colaboración en la elaboración del biodiesel a partir de aceite de higuera.

Como voy a dejar de mencionar la ayuda que prestó CORPAIRE, con su Centro de Revisión Vehicular; sus equipos e instalaciones así como el talento humano, fueron de mucha ayuda para determinar parámetros específicos, de manera especial al Ing. Edgar Muñoz, al Ing. Jorge Kaslín y al Ing. Alejandro Paredes, sin ellos hubiera sido imposible la realización de las pruebas y mediciones, de igual manera a la Lic. Luz Marina Rumazo; Liquidadora de Corpaire.

De igual manera al Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación (DPEC) de la Universidad Central del Ecuador, por la realización de los ensayos de caracterización del aceite de higuera.

PAOLA MARIELA PROAÑO MOLINA.

RESUMEN

El presente proyecto tiene por objetivo el investigar la utilización del aceite de higuera como combustible alternativo en motores diesel con bomba de inyección convencional, el que nos permite conocer el desempeño y rendimiento del vehículo mediante mezclas con diesel. Este proyecto genera un estudio de los distintos parámetros del automóvil a diferente régimen como potencia, torque, consumo y emisiones contaminantes.

El capítulo I, se refiere a la planta de higuera su descripción, lugar de origen, variedades de semillas, lugares para el cultivo, ciclo germinativo, así como la caracterización del aceite de higuera.

El capítulo II, trata de la obtención del aceite de higuera, procesos varios para obtener el aceite, el rendimiento de las semillas de higuera, condiciones y temperatura para almacenar el aceite, entre otros.

En el capítulo III, se elabora biodiesel a partir del aceite de higuera mediante el proceso de la transesterificación, cantidades de los reactivos utilizados así como las ventajas y desventajas del biocombustible al aplicarlo en motores de combustión interna.

En el capítulo IV, se desarrolla un protocolo de pruebas para la mezclas diesel/aceite en la que se obtuvo datos de parámetros característicos del vehículo, así como las condiciones de temperatura, presión y velocidad a las que se realizaron las pruebas.

En el capítulo V, se muestra un análisis de los parámetros tanto ambientales como mecánicos, obtenidos en cada mezcla.

PRESENTACIÓN

Es interesante reconocer la realidad socioeconómica generada por la producción de petróleo, tanto en lo relacionado con los precios que de él se derivan como en el hecho de ser un recurso no renovable que tiende a agotarse.

En este sentido la higuierilla ha generado gran expectativa, entre cultivadores de diferentes países, al percibir la favorabilidad para la producción industrial del biodiesel, pues se trata de una planta oleaginosa de la cual se extrae un aceite de gran valor en el mercado internacional, y ofrece buenas perspectivas comerciales actuales y a futuro.

En un mundo globalizado y en proceso de integración productiva y energética, es particular el interés por el cultivo de higuierilla, ya que Ecuador al igual que otros países de Latinoamérica, poseen un gran potencial agrario para su producción.

Respecto al Ecuador, se conoce que es un país óptimo en la producción de esta oleaginosa ya que la variedad de climas, así como la calidad de los suelos hace fácil su germinación, crecimiento y propagación, siendo prácticamente silvestre. Hasta el momento no había políticas de fomento; pero se están desarrollando algunos proyectos de investigación alrededor del cultivo y se tienen establecidas algunas áreas en pequeñas unidades productivas, ubicadas en terrenos que antes eran destinados para maíz o maní, explotados a través de mano de obra familiar o contratada.

La demanda del aceite es comparativamente alta con respecto a la oferta del mismo, sin embargo se tiene capacidad para fomentar grandes extensiones de este cultivo, además es un aceite no comestible que no compite con la alimentación humana, caso contrario de otras materias primas como el maíz, caña o soya.

Es así como se origina este proyecto de tesis, que tiene como finalidad determinar los parámetros y requerimientos necesarios para evaluar el rendimiento del aceite de higuera como una nueva opción de combustible alternativo.

La metodología empleada en el siguiente trabajo está sustentada en la investigación científica, obteniendo datos de fuentes relacionadas con el tema, documentación técnica y la experiencia logística de quienes apoyaron esta iniciativa.

En el desarrollo de esta tesis, primero se presenta la parte conceptual; referente a la descripción de la higuera, aplicada en industrias de otros países que ya tienen establecido su propio sistema de producción.

Luego se propone un protocolo de pruebas, para conocer el comportamiento del vehículo luego de utilizar aceite de higuera como combustible, así mismo está la descripción para elaborar biodiesel a partir de higuera, esto a pequeña escala, así mismo se hace una explicación teórica de los componentes químicos para elaborar el biocombustible.

Con la puesta en marcha de este estudio se obtendría la generación de un nuevo combustible, la difusión en nuestro medio de la información relacionada con esta nueva alternativa tecnológica ambiental, y la satisfacción de participar en la coproducción de un combustible que es amigable con el medio ambiente.

CARÁTULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
CERTIFICADO.....	iii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
RESUMEN.....	viii
PRESENTACIÓN.....	ix
ÍNDICE.....	xi

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I

1. LA HIGUERILLA.....	1
1.1 INFORMACIÓN GENERAL.....	1
1.3 ORIGEN DE LA HIGUERILLA.....	3
1.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA HIGUERILLA.....	4
1.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	5
1.5 VARIEDADES DE LA HIGUERILLA.....	12
1.5.1 RICINUS COMMUNIS MAYOR.....	13
1.5.2 RICINUS COMMUNIS MINOR.....	13
1.5.3 RICINUS COMMUNIS SANGUINEUS.....	13
1.5.4 RICINO COMMUNIS VIRIDIS.....	13
1.5.5 RICINUS COMMUNIS INERMIS.....	13
1.5.6 RICINUS COMMUNIS ZANZIBAIRIENSIS.....	13
1.6 LUGARES PARA EL CULTIVO.....	15
1.6.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA EL CULTIVO.....	16
1.6.2 CICLO GERMINATIVO.....	19
1.6.3 COSECHA DE LA HIGUERILLA.....	20
1.7 COMPOSICIÓN DE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA.....	21
1.8 PROPIEDADES DEL ACEITE DE HIGUERILLA O RICINO.....	22

1.8.1 PUNTO DE EBULLICIÓN.....	25
1.8.2 PUNTO DE CONGELACIÓN.....	26
1.8.3 DENSIDAD API.....	27
1.8.4 VISCOSIDAD CINEMÁTICA.....	28
1.8.5 CORROSIÓN.....	29
1.9 COMBUSTIBLE UTILIZADOS EN UN MOTOR DIESEL.....	31
1.9.1 CARACTERÍSTICAS DIESEL COMÚN.....	32
1.9.2 CARACTERÍSTICAS DIESEL 2.....	33
1.9.3 DIESEL PREMIUM.....	34
1.9.3.1 Ventajas del uso del producto.....	34
1.9.4 COMPARACIONES DE EMISIONES EN EL MOTOR DIESEL.....	35
CAPÍTULO II	
2. OBTENCIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA.....	37
2.1 PROCESOS DE OBTENCIÓN DEL ACEITE.....	37
2.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE POR PRESIÓN.....	40
2.2.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE POR SOLVENTES.....	41
2.2.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO.....	42
2.3 RENDIMIENTO DE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA.....	43
2.4 CONSERVACIÓN DEL ACEITE.....	45
2.5 TEMPERATURA.....	46
2.6 CONDICIONES FÍSICAS DE ALMACENAMIENTO.....	46
2.7 ALMACENAMIENTO EN TANQUES RESERVORIOS.....	46
2.8 AGREGADOS ADICIONALES PARA CONSERVAR SU PUREZA.....	47
CAPÍTULO III	
3. ELABORACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA.....	48
3.1 DEFINICIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	48
3.1.2 COMPONENTES DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	50
3.1.1.1 Aceite puro de ricino.....	50
3.1.1.2 Metanol.....	50

3.1.1.3 Catalizador.....	51
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	52
3.3 OBTENCIÓN DEL BIODIESEL MEDIANTE EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN.....	53
3.3.1 PROPORCIÓN DE MEZCLA ACEITE METANOL.....	53
3.4 CONTROL DE CALIDAD DEL BIODIESEL.....	55
3.5 VENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL.....	61
3.6 DESVENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL.....	62
3.7 ALMACENAMIENTO DEL BIODIESEL.....	62
3.8 OBTENCIÓN DEL ACEITE UTILIZANDO EL MOLINO CONVENCIONAL.....	63

CAPÍTULO IV

4. INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5-10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL.....	64
4.1 ANTECEDENTES.....	64
4.2 JUSTIFICACIÓN.....	65
4.3 OBJETIVO GENERAL.....	66
4.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	66
4.5 METAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	67
4.6 CONSIDERACIONES PARA EL PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	67
4.7 DESARROLLO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	68
4.7.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE CONSUMO.....	74
4.8 SEGUNDA PRUEBA A LOS 5 KM CON UNA MEZCLA DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 5%.....	75
4.8.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEZCLA AL 5%.....	75
4.9 TERCERA PRUEBA A LOS 5 KM EN MEZCLA DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 10%.....	78

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	80
5.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON DIESEL PURO.....	80
5.1.1 POTENCIA Y TORQUE.....	80
5.1.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	81
5.1.3 ANÁLISIS DE GASES (HC, CO,NOX) CON DIESEL PURO.....	84
5.1.4 OPACIDAD.....	89
5.1.5 EFICIENCIA TÉRMICA.....	91
5.2 TABLAS, CURVAS Y GRÁFICAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE ACEITE DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 5%.....	94
5.2.1 POTENCIA Y TORQUE.....	94
5.2.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON LA MEZCLA L 5%	95
5.2.3 ANÁLISIS DE GASES (HC, CO, NOX, CO2) CON DIESEL Y MEZCLA AL 5%	98
5.2.4 OPACIDAD.....	102
5.2.5 EFICIENCIA TÉRMICA.....	104
5.3 TABLAS, CURVAS Y GRÁFICAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 10%.....	105
5.3.1 POTENCIA Y TORQUE.....	105
5.3.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON LA MEZCLA AL 10%.....	106
5.3.3 ANÁLISIS DE GASES (HC, CO,NOX) CON DIESEL Y ACEITE AL 10%.....	109
5.3.4 OPACIDAD.....	113
5.3.5 EFICIENCIA TÉRMICA.....	115
5.4 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	120
5.4.1 PERSONAL.....	120
5.4.2 MISCELÁNEOS.....	120
5.4.3 COSTOS PERSONALES.....	120
5.4.3.1 Ingeniería y Administración.....	120
5.4.3.2 Adquisición de materiales.....	120
5.5 Costo total.....	121
CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES.....	124

BIBLIOGRAFÍA.....	125
ANEXOS.....	126
ANEXO "A" (Certificado de análisis).....	127
ANEXO "B" (Ensayos de caracterización).....	129
ANEXO "C" (Pruebas de laboratorio).....	131
ANEXO "D" (Hoja de seguridad).....	134
ANEXO "E" (Datos técnicos del metanol).....	139
ANEXO "F" (Datos técnicos DMAX 2.5 TD).....	141
ANEXO "G" (Certificación CORPAIRE).....	143
ANEXO "H" (Especificaciones bomba de inyección).....	145
ANEXO "I" (Datos de opacidad).....	147
ANEXO "J" (Poder calorífico de varios combustible).....	149
ANEXO "K" (Valores de torque y RPM con diesel).....	151
ANEXO "L" (Valores de torque y RPM mezcla al 5%).....	153
ANEXO "M" (Valores de torque y RPM mezcla al 10%).....	155
ANEXO "N" (Artículo).....	164
ANEXO "O" (Glosario).....	172
ANEXO "P" (Artículo).....	180
ANEXO "Q" (Glosario).....	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Planta de la higuera.....	4
Figura 1.2 Desarrollo del sistema radical.....	5
Figura 1.3 Ilustración del rápido crecimiento de la raíz central.....	5
Figura 1.4 Planta de higuera con tallo color violeta y cera.....	6
Figura 1.5 Planta de higuera con tallo color violeta y sin cera.....	6
Figura 1.6 Planta de higuera con tallo color verde y con cera.....	7
Figura 1.7 Parte interna del tallo.....	7
Figura 1.8 Hojas de higuera de diferentes tamaño y número de lóbulos.....	8

Figura 1.9 Hojas de higuera color violeta.....	8
Figura 1.10 Racimo de la higuera de cultivos comerciales.....	9
Figura 1.11 Flores femeninas con estigmas rojos.....	9
Figura 1.12 Racimo típico, frutos color violeta cubierto de cera.....	10
Figura 1.13 Racimo típico, frutos color verde y cubierto de cera.....	10
Figura 1.14 Parte inferior del fruto de la higuera,.....	11
Figura 1.15 Semillas de diferentes colores y tamaños.....	11
Figura 1.16 Plantaciones de higuera.....	15
Figura 1.17 Ciclo productivo del ricino.....	20
Figura 1.18 Composición de la higuera.....	21
Figura 1.19 Estructura del ácido ricinoléico.....	22
Figura 1.20 Estructura química del aceite de higuera.....	23
Figura 1.21 Método para obtener el punto de ebullición.....	26
Figura 1.22 Hidrómetro ASTM H4.....	27
Figura 1.23 Viscosímetro Canon-Fenske para líquidos transparentes.....	29
Figura 2.1 Almacenaje de las semillas.....	37
Figura 2.2 Semillas en mal estado.....	37
Figura 2.3 Semillas en buen estado.....	38
Figura 2.4 Cuerpos extraños.....	38
Figura 2.5 Descascarado manual de las semillas.....	38
Figura 2.6 Secado natural de las semillas.....	39
Figura 2.7 Molienda de las semillas.....	39
Figura 2.8 Prensa para la extracción de aceite de higuera en miniplantas.....	40
Figura 2.9 Prensa hidráulica.....	41
Figura 2.10 Aceites crudos extraídos usando hexano.....	42
Figura 2.11 Rendimiento de cultivos útiles para la producción.....	44
Figura 2.12. Rendimiento de cultivos oleaginosos en la producción de biodiesel.....	45
Figura 2.13 Tanque utilizado por fideicomiso oleaginosas del puerto.....	47
Figura 3.1 Procesos químicos ocurridos durante la transesterificación.....	49
Figura 3.2 Procesos de producción de biodiesel.....	49
Figura 3.3 Aceite de ricino en un balón.....	50
Figura 3.4 Fórmula química y presentación comercial del metanol.....	50

Figura 3.5 Metodologías del proceso de transesterificación de aceites.....	51
Figura 3.6 El ciclo del biodiesel.....	53
Figura 3.7 Biodiesel de aceite comestible.....	54
Figura 3.8 Biodiesel de aceite de higuera.....	54
Figura 3.9 Obtención de aceite.....	63
Figura 4.1 Ventilador MAHA utilizado en la pruebas.....	69
Figura 4.2 Medidor de gases a bordo cleanAIR.....	69
Figura 4.3 Opacímetro y medidor de gases utilizado en las pruebas.....	71
Figura 4.4 Datos obtenidos en la primera medición.....	71
Figura 4.5 Vehículo en el dinamómetro de prueba.....	72
Figura 4.6 Curva obtenida en 3ra marcha.....	73
Figura 4.7 Recipiente graduado.....	73
Figura 4.8 Sistema de Combustible del vehículo LUV-DMAX 2.5 TD.....	74
Figura 4.9 Medición del diesel.....	76
Figura 4.10 Galón referencial para la preparación de la mezcla.....	76
Figura 4.11 Medición del aceite.....	76
Figura 4.12 Curva obtenida en mezcla con aceite al 5%.....	77
Figura 4.13 Curva obtenida en mezcla con aceite al 10%.....	79
Figura 5.1 Curvas de potencia y torque con diesel.....	80
Figura 5.2 Consumo específico por hora a diferentes revoluciones.....	83
Figura 5.3 Emisiones de HC con diesel puro.....	86
Figura 5.4 Emisiones de CO con diesel puro.....	87
Figura 5.5 Emisiones de NOx con diesel puro.....	88
Figura 5.6 Emisiones de CO2 con diesel puro.....	88
Figura 5.7 Emisiones Contaminantes con diesel puro.....	89
Figura 5.8 Curva de potencia y torque con mezcla de aceite al 5%.....	95
Figura 5.9 Consumo específico de combustible con diesel y mezcla al 5%.....	97
Figura 5.10 Emisiones de HC con diesel y mezcla al 5%.....	98
Figura 5.11 Emisiones de CO con diesel y mezcla al 5%.....	99
Figura 5.12 Emisiones de NOx con diesel y mezcla al 5%.....	100
Figura 5.13 Emisiones de CO2 con diesel y mezcla al 5%.....	101
Figura 5.14 Emisiones contaminantes con una mezcla de aceite de higuera al	

5%.....	102
Figura 5.15 Curva de potencia y torque con mezcla al 10%.....	106
Figura 5.16 Consumo específico de combustible con diesel, mezcla al 10%.....	108
Figura 5.17 Emisiones de HC con diesel y mezclas al 5 – 10 %.....	109
Figura 5.18. Emisiones de CO con diesel y mezclas al 5 – 10 %.....	110
Figura 5.19 Emisiones de NOx con diesel y mezclas al 5 – 10 %.....	111
Figura 5.20 Emisiones de CO2 con diesel y mezclas al 5 – 10 %.....	112
Figura 5.21 Emisiones contaminantes con diesel más aceite al 10%.....	113
Figura 5.22 Comparación de la potencia y torque con diesel y mezclas al 5 -10%.....	117
Figura 5.23 Comparación del consumo con diesel y mezclas al 5 -10%.....	117
Figura 5.24 Comparación de las emisiones con diesel y mezclas al 5 -10%.....	118
Figura 5.25 Comparación de la eficiencia térmica con diesel y mezclas al 5 - 10%.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I.1 Clasificación científica de la higuera.....	12
TABLA I.2 Variedades de la higuera.....	14
TABLA I.3 Características del cultivo de higuera.....	17
TABLA I.4 Estimación de la producción de oleaginosas en Ecuador en TM. Año 2003. Región Costa, Sierra y Oriente.....	19
TABLA I. 5 Ciclo germinativo en días.....	19
TABLA I.6 Composición del pericarpio.....	21
TABLA I.7 Composición de la almendra.....	22
TABLA I.8 Composición del aceite de ricino.....	24
TABLA I.9 Características generales del aceite de ricino.....	24
TABLA I.10 Propiedades físicas y químicas.....	24
TABLA I.11 Propiedades físicas y químicas del aceite de higuera.....	25
TABLA I.12 Clasificación de derivados del petróleo.....	28
TABLA I.13 Otros parámetros obtenidos mediante ensayos de caracterización.....	30
TABLA I.14 Especificaciones para combustibles diesel.....	31

TABLA I.15 Especificaciones para el diesel común.....	33
TABLA I.16 Especificaciones para el diesel 2.....	34
TABLA I.17 Comparación de los niveles de emisiones entre el biodiesel y el gasóleo.....	36
TABLA II.3 Rendimiento de la higuera, acorde a su tiempo de madurez.....	45
TABLA III.1 Propiedades del biodiesel.....	56
TABLA III.2 NORMA ASTM 6751: Especificaciones B100 o como aditivo del diesel.....	57
TABLA III.3 NORMA ASTM 6751: Especificaciones B100 o como aditivo del diesel.....	57
TABLA III.4 Varias características del aceite vegetal, diesel y biodiesel.....	58
TABLA III.5 Norma Alemana DIN 51605.....	60
TABLA III.6 Resultados de las pruebas de laboratorio con biodiesel.....	61
TABLA IV.1 Consideraciones protocolo de pruebas.....	67
TABLA IV.2 Especificaciones técnicas del motor de ensayo.....	68
TABLA IV.3 Resultados de la medición de la potencia nominal del vehículo.....	69
TABLA IV. 4 Proporciones del diesel y aceite usados en la mezcla al 5%.....	75
TABLA IV.5 Proporciones de diesel y aceite usados en la mezcla al 10%.....	78
TABLA V.1 Resumen de datos con diesel convencional.....	81
TABLA V.2 Valores obtenidos en el consumo de combustible.....	82
TABLA V.3 Consumo específico por hora a diferentes revoluciones.....	83
TABLA V.4 Composición de los gases de escape diesel.....	85
TABLA V.5 Valores obtenidos en la prueba de opacidad con diesel.....	90
TABLA V.6 Análisis del gas de humo a 100% de velocidad máxima.....	90
TABLA V.7 Análisis del gas de humo a 90% de velocidad máxima.....	90
TABLA V.8 Análisis del gas de humo a 80% de velocidad máxima.....	91
TABLA V.9 Poder calorífico del diesel, aceite combustible y de higuera.....	92
TABLA V.10 Datos de K obtenidos al realizar las pruebas.....	96
TABLA V.11 Consumo por hora a diferentes revoluciones (mezcla al 5%).....	97
TABLA V.12 Valores obtenidos al realizar la prueba de opacidad con mezcla al 5%.....	102
TABLA V.13 Análisis del gas de humo a 100% de velocidad máxima.....	102
TABLA V.14 Análisis del gas de humo a 90% de velocidad máxima.....	103

TABLA V.15 Análisis del gas de humo a 80% de velocidad máxima.....	103
TABLA V.16 Datos de K de la prueba realizada. (Mezcla al 10%).....	106
TABLA V.17 Valores obtenidos al realizar la prueba de consumo con mezcla al 10%.....	107
TABLA V.18 Valores obtenidos al realizar la prueba de opacidad con mezcla al 10%.....	113
TABLA V.19 Análisis del gas de humo a 100% de velocidad máxima.....	114
TABLA V.20 Análisis del gas de humo a 90% de velocidad máxima.....	114
TABLA V.21 Análisis del gas de humo a 80% de velocidad máxima.....	114
TABLA V.22 Cuadro resumen de parámetros mecánicos.....	119
TABLA V.23 Cuadro resumen de emisiones contaminantes.....	119
TABLA V.24 Detalle de misceláneos.....	120
TABLA V.25. Costos de ingeniería y administración.....	120
TABLA V.26. Costos adquisición.....	120
TABLA V.27 Costos de ensayos.....	121
TABLA V.28 Costo total.....	121

CAPÍTULO I

1. LA HIGUERILLA

1.1 INFORMACIÓN GENERAL

El uso de los combustibles fósiles en el Ecuador está 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.

En el mundo moderno se empieza a utilizar biocombustibles, entre sus versiones está el bioetanol en combinación con la gasolina, mientras que en los motores a diesel empieza a usarse mezclas con biodiesel.

El bioetanol se utiliza como sustitutivo de la gasolina, como único combustible o en mezclas, que por razones de miscibilidad entre ambos productos, no deben sobrepasar el 5-10% en volumen de etanol en climas fríos y templados, pudiendo llegar a un 20% en zonas más cálidas. Los países europeos hablan ya de un nivel de reemplazo de biodiesel de hasta un 20% en el diesel fósil.

El uso de aceites vegetales como combustibles, es en el año de 1900, siendo Rudolph Diesel, quien lo utilizó en su motor de encendido por compresión (aceite de cacahuete) y quien predijera el uso futuro de biocombustibles. “Durante la segunda guerra mundial, y ante la escasez de combustibles fósiles, se destacó la investigación realizada por Otto y Vivacqua en el Brasil, sobre diesel de origen vegetal, pero no fue hasta el año de 1970, que el biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética que se sucedía (1ª Gran crisis energética)”¹

“En el Ecuador, se incorporó en las políticas nacionales el apoyo al uso de bio - combustibles por medio del Decreto Ejecutivo 2332. Registro Oficial 482. 15 de Diciembre del 2004. En él, se declara de interés nacional la producción, comercialización y uso de bio-carburantes como componentes de los combustibles

¹ Disponible en http://bengal.missouri.edu/~pavt0689/Review_Utilization_of_Rap

que se consumen en el país, y se crea el Consejo Consultivo de Bio – combustibles”.²

Actualmente La FABRIL, en su planta de producción de Montecristi es la primera y hasta el momento única empresa de aceites y grasas que ha incursionado en la producción de biodiesel a base de oleína de palma africana en parte importado desde Malasia; ha tenido una producción de 8.000 a 9.000 toneladas al mes, dedicada a la exportación. “La FABRIL cuenta con una licencia internacional cedida por Environmental Protection Agency (EPA), que desde agosto de 2005 lo que le ha permitido exportar su producto a los Estados Unidos de Norteamérica”.³

La fabricación de biodiesel en Ecuador a nivel industrial se hace a partir de palma africana, existiendo una de las plantas más grandes de América Latina para la fabricación de biodiesel en la ciudad de Manta, la cual frente a los incrementos del precio del aceite de palma suspendió la producción.

“El desarrollo y aplicación de combustibles sustitutos cobran una vital importancia, debiendo recurrir a la naturaleza para poder cubrir nuestras necesidades de energía y transporte, buscando siempre afectar en menor grado nuestro ambiente.

Tanto por presiones económicas como ambientales, la necesidad de introducir nuevas tecnologías para el transporte son cada vez más importantes. Mientras que muchos se concentran en desarrollar nuevos tipos de motores, es necesario observar nuevas alternativas de combustibles que resulten menos costosas y fáciles de obtener. En estos últimos tiempos, el particular interés del cultivo de la Higuierilla (*Ricinus Communis L.*) va aumentando, especialmente en países latinoamericanos, los que poseen un gran potencial agrario para su producción. El área sembrada con higuierilla en el mundo es aproximadamente de 1.1 millones de has, siendo los tres principales países productores: India, Brasil y China”.⁴

En países como Chile, México, Perú, Colombia y Ecuador, empieza a aprovecharse la condición de suelos marginados y aptos para el cultivo de la planta, así su

² ALFREDO BARRIGAR, PhD, ESPOL. Producción y Uso de Aceites Vegetales y Biodiesel en Ecuador.

³ LA FABRIL. Disponible en <http://www.lafabril.com.ec/htm/faq.htm>

⁴ EMBRAPA BRASIL (2005). Liv Soares Severino, Tarcísio Marcos de Souza Gondim: Curso sobre el Cultivo de Higuierilla. Consultado el 8 de agosto del 2009. (p. 2).

producción está en incremento, e incluso se ha llegado a considerar en Ecuador el nuevo nicho para la exportación. Los mercados más atractivos para la higuierilla son los mercados europeos, entre ellos Alemania, Holanda y Francia. El principal uso del aceite extraído de la semilla del fruto de la *Ricinus Communis L.* está en los fines cosméticos, lubricante, además de existir otros, pero el enfoque actual se encuentra en la elaboración de biocombustibles a partir su extracto; pues la semilla contiene extracto de aceite entre un 47% a 55%, lo que convierte a la planta en la oleaginosa con mayor contenido de aceite fijo. Los cultivos de higuierilla son además atractivos en la elaboración de biocombustibles porque su aceite es considerado el mejor en la producción de biodiesel, al ser el único soluble en alcohol y no requerir calor para la transformación de aceite vegetal a combustible.

1.2 ORIGEN DE LA HIGUERILLA

El origen de la *Ricinus Communis L.* está en Abisinia, Irán y Afganistán aparece como una planta ornamental en todas las regiones de la zona tropical o subtropical; de donde se extendió al Medio Oriente como planta silvestre.⁵

En la India y la China fue conocida hace unos 3000 años, probablemente se introdujo en América después del descubrimiento.

Los egipcios hace más de 4000 años, empleaban la higuierilla en la iluminación o alumbrado de sus casas, parece que era una planta altamente estimada porque en algunas tumbas egipcias se encontró sus semillas. El nombre aplicado ya a esta planta por Plinio y otros autores romanos, alude al parecido de sus semillas con la garrapata, llamada también ricinus en latín. Pero el ricino era conocido desde mucho antes, pues lo nombran autores griegos como, Teofrasto y Dioscórides, con el nombre de crotón.

1.3 DESCRIPCIÓN DE LA HIGUERILLA

Es conocida desde la antigüedad, no sólo por la alta toxicidad de sus semillas sino, además, porque su aceite ha sido siempre muy valorado como purgante.

⁵GONZALES GARDUÑO, Cindy Trinidad: La Higuierilla (*Ricinus Communis L.*), notas y usos de Elia Méndez Salazar. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Convenio académico con Tlanhui-Educa.



FIGURA 1.1 Planta de la higerilla.

Es una planta que se encuentra desde el nivel del mar hasta los 3000 metros, en los bordes de los caminos, quebradas, ríos, en solares, en huertas y también sembrada en cultivos comerciales con todas las normas técnicas de la agricultura moderna.

Las plantas de ricino tienen un rendimiento de alrededor de 4 toneladas por hectárea, proporcionando 1,5 toneladas de aceite bruto. La planta absorbe también anhídrido carbónico, y por lo tanto reduce las acumulaciones de gas de invernadero en la atmósfera. Se estima que el nivel de absorción de anhídrido carbónico de las plantas de ricino es de 34,6 toneladas por hectárea, con dos ciclos de cultivo por año.

1.3.1 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

La raíz puede alcanzar hasta 3 m de profundidad constituyéndose el anclaje principal de la planta. Presenta raíces secundarias numerosas y oblicuas, situadas a poca profundidad.



FIGURA 1. 2 Sistema radical de la higuerilla



FIGURA 1.3 Crecimiento de la raíz central

La planta está dotada de un tallo principal recto seccionado por entrenudos, hueco en su parte interior lo cual facilita la eliminación de la soca. Su color depende de la variedad puede ser verde, rosado o caoba. El tallo principal termina en el primer racimo (inflorescencia), siendo este el más grande de la planta. A partir del cuarto

nudo empiezan a aparecer las ramas secundarias que producen a su vez ramas adicionales observándose en ambas producción de racimos.



FIGURA 1.4 Planta de higuerilla con tallo color violeta



FIGURA 1.5 Planta de higuerilla con tallo color violeta.



FIGURA 1.6 Planta de higuerilla con tallo color verde

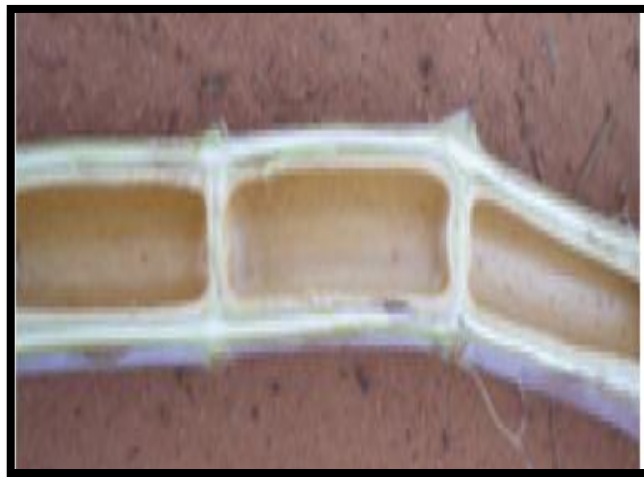


FIGURA 1.7 Parte interna del tallo

Las hojas, alternas, pecioladas, palmeadas de 7 a 11 lóbulos, dentadas. Peciolos redondos de 8 a 50 cm de largo y de 10 a 20 cm de longitud; con dos glándulas nectaríferas en la unión con la lámina, dos glándulas en la unión con el peciolo; la lámina de la hoja tiene 10 a 75 cm de diámetro y de un color que va de verde a rojo.

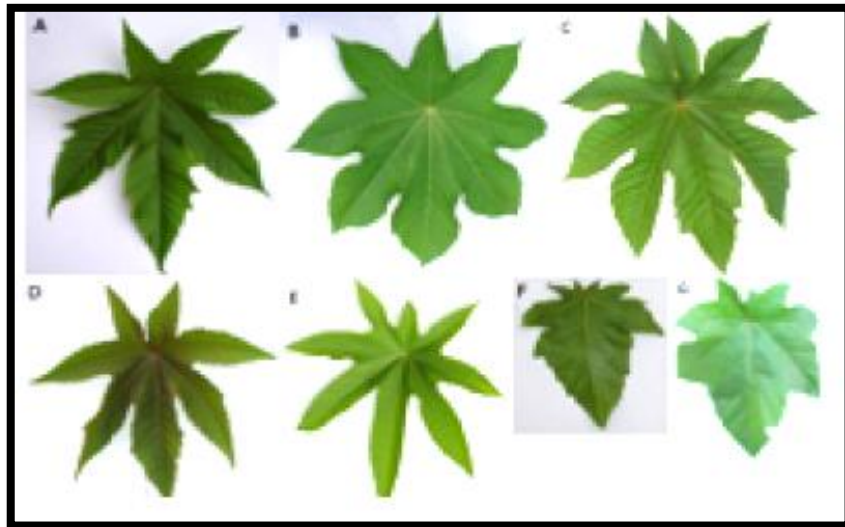


FIGURA 1.8 Hojas de higuera de diferentes tamaño y número de lóbulos.



FIGURA 1.9 Hojas de higuera color violeta.

Las flores están agrupadas en una panícula terminal de 10 a 40 cm de largo, las flores femeninas están localizadas en la parte superior y las masculinas en la parte

inferior de la inflorescencia. Las flores masculinas están en cimas de 3 a 16 flores de pedicelo de 0.5 a 1.5 cm de largo, de 3 a 5 sépalos verdes de 5 a 7 cm de largo, pétalos ausentes, estambres numerosos de 5 a 10 mm de largo con muchos filamentos ramificados, que terminan en una antera pequeña esférica y de color amarillo claro. Las flores femeninas en cimas de 1 a 7 flores, pedicelo de 4 a 5 mm de largo de 3 a 5 sépalos de color verde de 3 a 5 mm de largo los cuales se caen rápidamente; ovario superior con tres celdas, un óvulo por cada celda, la pared del ovario cubierta con espinas verdes y suaves, cada una termina en un punto transparente, el cual se cae cuando el fruto se desarrolla, estilo muy corto que se divide en tres estigmas bien definidos de color rojo.



FIGURA 1.10 Racimo de la higerilla de cultivos comerciales



FIGURA 1.11 Flores femeninas con estigmas rojos

Los frutos están en una cápsula globosa con pedicelo elongado con tres lóculos de 1.5 a 2.5 cm de diámetro, generalmente espinoso. Los frutos inmaduros son generalmente verdes y algunas veces rojos, se vuelven cafés en la maduración, los estigmas permanecen en el fruto en forma leñosa.



FIGURA 1.12 Racimo típico, frutos color violeta cubierto de cera.



FIGURA 1.13 Racimo típico, frutos color verde y cubierto de cera.

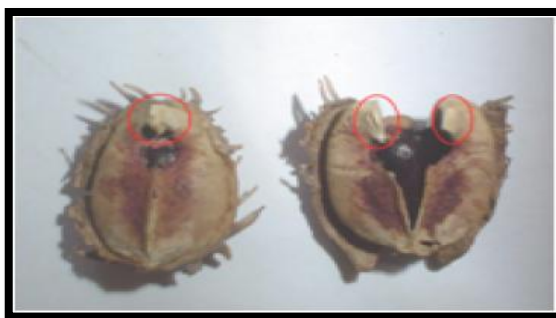


FIGURA 1.14 Parte inferior del fruto de la higerilla.

Las semillas son de forma oval aplastada, redondeadas en un extremo y con una excrescencia en el otro llamada carúncula, de superficie brillante y lisa, de color variable que suele ser gris con manchas rojizas y parduzcas de tamaño variable que va de 0.5 a 1.5 cm de largo; la semilla tiene una cubierta dura y quebradiza exterior y otra inferior muy fina de color blanquecino, ambas protegen la semilla, la cual consta de un embrión pequeño con sus dos cotiledones delgado y el albumen que es blando, compacto y aceitoso, el albumen es el que contiene el aceite. La semilla contiene toxinas que son ricina y la ricenina (alcaloide) las cuales quedan en el bagazo o torta que sobra en la extracción del aceite.



FIGURA 1.15 Semillas de diferentes colores y tamaños

1.4 NOMBRE CIENTÍFICO DE LA HIGUERILLA

En el mundo botánico es conocida, como *RICINUS COMMUNIS*, cuyo nombre científico es una palabra latina que significa garrapata y hace referencia a la forma de la semilla; de ahí el nombre. La denominación <higuera del diablo> puede que se refiera al aspecto de sus hojas, como las de higuera, o a la coloración rojiza de los tallos, aunque podría deberse a la toxicidad que encierran las semillas.

La denominación popular es: “*Alcherva, bafureura, castaño de la India, catapúcia mayor, cherva, crotón, grano mayor de reyes, hiera del demonio, hiquereta infernal, hiquerilla, hiquerillo, kerva, macororó, mamona, tártago de Venezuela. En las Islas Canarias se le conoce como tarta güero*”.⁶

En el Ecuador los nombres más conocidos son: palma Cristi, castor, higuera infernal, tártago, hiquereta y ricino. En cuanto a su taxonomía, es una planta arbustiva que resiste climas variados.

TABLA I.1 Clasificación científica de la hiquerilla

⁶ Disponible en: http://www.natureduca.com/med_espec_ricino.php

REINO	PLANTAE
Subreino	<i>Tracheobionta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Familia	<i>Euphorbiaceae</i>
Género	<i>Ricinus</i>

1.5 VARIEDADES DE LA HIGUERILLA

1.5.1 RICINUS COMMUNIS MAYOR.

Ricino grande. Es la más común, de hojas grandes de color verde, frutos numerosos casi esféricos e indehiscentes, su aceite es más indicado para uso industrial. Madura bien y precoz, es planta ornamental.

1.5.2 RICINUS COMMUNIS MINOR.

Ricino pequeño. De semillas pequeñas, es dehiscente, planta pequeña y muy ramificada desde la base.

1.5.3 RICINUS COMMUNIS SANGUINEUS.

Los tallos, hojas y frutos son de color rojo intenso, semillas grandes de color pardo claro con manchas oscuras, en regiones frías se cultiva como ornamental.

1.5.4 RICINUS COMMUNIS VIRIDIS.

Tallos y peciolo son de color verde claro, con tintes ligeramente rosados en los nudos, semillas pequeñas, grisáceas manchadas de pardo. Es tardía, se adapta a regiones templadas con lluvias.

1.5.5 RICINUS COMMUNIS INERMIS.

Tallos, peciolo y hojas jóvenes de color rojizo, que se tornan verdes a la madurez. Los frutos no tienen espinas, semillas de color medio, de color castaño, porte pequeño, es precoz.

1.5.6 RICINUS COMMUNIS ZANZIBAIRIENSIS.

“Propia de climas tropicales, de tallos rojizos y hojas grandes, la fructificación es baja y tardía, semillas grandes, solo tiene valor como planta ornamental”.⁷

Sin embargo el Ricino se considera monotípico, es decir, de una sola especie. La amplia diversidad genética del Ricino se traduce en distintos tipos, que varían según diversas características: altura de planta, dehiscencia de los frutos, grado de ramificación, tamaño de la semilla y presencia o ausencia de espina.

Para la realización de esta investigación hemos utilizado la Higuierilla negra o más conocida como mamona. Variedades de higuierilla, certificadas y reconocidas en Colombia lo son: la Higuierilla Blanca Jaspeada, la Higuierilla Negra, la Higuierilla Negra Jaspeada y la Higuierilla Roja, alguna de las cuales nacen de forma natural en nuestro país. Detallo en las siguientes tablas, algunas características de estas semillas, las mismas que son empleadas en los procesos llevados por una empresa colombiana, experta en las variedades de la Ricino.

TABLA I.2 Variedades de la higuierilla.

⁷ ARANGO M., A. P. Et al. La higuierilla como alternativa de sombrío de zonas bajas. 1990. Tesis. Armenia. universidad del Quindío. Tecnología agropecuaria. 71 p.

1.6 LUGARES PARA EL CULTIVO

En condiciones adecuadas de humedad y calor, incluida la plena luz solar, la semilla de ricino puede crecer muy rápidamente con poca atención o las plagas de insectos y produce una masa de exuberante flora tropical, de 6 a 15 pies (2-5 metros) en una temporada.

- Suelos con profundidades medias y bien drenadas.
- Pendiente: 0-10%.
- Uso del suelo: Agrícola temporal.





	HIGUERILLA BLANCA JASPEADA	HIGUERILLA NEGRA	HIGUERILLA NEGRA JASPEADA	HIGUERILLA ROJA
MUESTRA				
LUGAR DE ORIGEN:	Antioquia (Oriente)	Manabí (Ecuador)	Manabí (Ecuador)	Manabí (Ecuador)
CONTENIDO DE ACEITE	48%	50%	50%	48%
SEMILLAS POR KG.	900-950	1200-1300	1200-1300	1200-1300
COLOR	Blanco con manchas marrón	Negro	Negro con manchas más oscuras	Rojo con manchas más oscuras
FRUTOS	Dehiscentes	Dehiscentes	Dehiscentes	Dehiscentes
ALTURAS CULTIVABLES	800 - 2000 msnm	0- 800 msnm	0- 800 msnm	0- 800 msnm
HABITAT DE CRECIMIENTO	Arbustivo	Arbustivo	Arbustivo	Arbustivo
CICLO DE VIDA MEDIO (días)	180	150	150	150
TOLERANCIA A LA DUREZA DEL SUELO	Media – baja	Media – baja	Media – baja	Media – baja
PRODUCCIÓN MEDIA (Kg./ha) anual	7500	6000	6000	6000
FORMA DE LAS SEMILLAS	Ovalada	Ovalada	Ovalada	Ovalada alargado
TIEMPO DE GERMINACIÓN (días)	10	10	10	10



FIGURA 1.16 Plantaciones de higuera

“La planta no tolera suelos ácidos, por lo que el pH debe mantenerse por lo menos en alrededor 6 a 7, que sería el pH óptimo para esta clase de cultivos, el mínimo tolerable para la planta es de 5.5. Cuando el pH está bajo 5, se puede aplicar cal para corregir el pH, por lo menos tres meses antes de la siembra”.⁸

Deben evitarse los suelos que se inundan con facilidad, pues no soporta el encharcamiento durante períodos prolongados. Las condiciones de suelos para este cultivo se establecen entre una mediana a alta fertilidad de suelos, profundos, sueltos, permeables, aireados, bien drenados, con altas cantidades de elementos nutritivos. Los suelos con pendientes sobre los 12% limitan el desarrollo del cultivo. Se trata de una planta muy exigente respecto a la fertilidad del suelo. Sin embargo, es un cultivo rústico adaptable a diferentes tipos de suelo, incluido los marginales y depredados por la actividad agrícola y cocalera, teniendo la ventaja de ser un cultivo mecanizable.

1.6.1 CONDICIONES CLIMÁTICAS PARA EL CULTIVO

⁸ HIGUERILLA. (1991). Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José.

La especie Ricinus está adaptada a una amplia variedad de climas; crece en las zonas tropicales secas, tropicales húmedas y templadas. En el Ecuador está presente de manera silvestre. Como planta típica de zonas cálidas, su producción es mayor cuando la media de las temperaturas mínimas se sitúa en torno a los 20°C, y la media de las máximas alrededor de los 30°C. Si las temperaturas son inferiores a este rango, principalmente durante la floración, suele producirse una disminución en el número de flores femeninas.

“También la temperatura tiene mucha importancia en la etapa de la emergencia de la semilla, si la temperatura es menor de 20°C la planta no soportará heladas en cualquier etapa del cultivo”.⁹ La planta es exigente a la alta luminosidad, por tanto requiere de 10 a 12 horas de luz solar diariamente. Los cultivos de porte alto son los que mejor resisten los largos períodos de sequía, debido a que su sistema radicular tiene capacidad para alcanzar grandes profundidades. Los cultivos modernos, enanos y con raíces más superficiales, exigen precipitaciones, entre los 600 y los 1000 mm. En las zonas libre de heladas inviernos la planta puede vivir durante muchos años. La temperatura ideal para el crecimiento de la planta está en el rango de 20 ° al 30 ° C y el exceso de agua puede ser tolerado por no más de 2 días.

Las lluvias deben ser moderadas y bien distribuidas, abundantes en la etapa de desarrollo. La maduración y la cosecha deben coincidir con la época seca para que los racimos sequen uniformemente para que no se desprendan los frutos antes de la recolección. Cuando las lluvias pasan los requerimientos mencionados la planta tiende a desarrollarse mucho vegetativamente con disminución en la producción.

“Principales compradores del aceite de Ricino o de su fruto son aquellos países en los que no existen tales condiciones para el cultivo, pueden citarse algunos países europeos como Alemania, Holanda y Francia”.¹⁰

TABLA I.3 Características del cultivo de higuierilla.

Altitud	Costa, Sierra y Amazonía, hasta los 300 metros sobre el nivel del mar.
Suelos	De fertilidad mediana a alta; profundos, sueltos, permeables, aireados, bien drenados, con altas cantidades de nutritivos, con pH mayor a 5.5

⁹ EMBRAPA BRASIL (2005). Liv Soares Severino, Tarcísio Marcos de Souza Gondim: Curso sobre el Cultivo de Higuierilla. (p. 6).

¹⁰ Escuela Superior Politécnica del Litoral. (2009). Tesis: "Producción y Exportación de la Higuierilla (Ricinus Communis L.) a Colombia como Materia Prima para la Elaboración de Biocombustibles". (p.24).

	(óptimo 6- 7), no alcalinidad.
Precipitación	200 – 4290 mm. Anuales. Óptimo de 750 a 1000 mm.
Temperaturas	7 -27.8 °C. Óptimo: 20 a 26 °C
Insectos dañinos	Jogoto, Gusano alambre, Gusano Soldado.

Fuente: Ministerio de Agricultura del Perú.

La *Ricinus Communis* es una planta que se ha cultivado en una serie de zonas de Latinoamérica; el Servicio Alemán de Cooperación Social y Técnica Deutscher Entwicklungsdienst, destaca que en el Ecuador se estimó, hace algunos años, un cultivo de alrededor 3700 hectáreas, entre Manabí, Esmeraldas, Guayas y El Oro. “La historia revela que sociedades como ALES y otras conocidas como Castor Ecuatoriana, estuvieron involucradas en procesamientos de higuierilla durante un período comprendido entre 1930 y 1960”.¹¹

Una publicación manabita reciente señala que: “El Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, en conjunto con el Consejo Provincial de Manabí, participan actualmente en un proyecto de producción de higuierilla, especialmente en el cantón Tosagua y Rocafuerte”.¹²

“Todo parece indicar que la siembra y recolección de Higuierilla va en incremento en el país, así por ejemplo en un recinto del cantón Rocafuerte, El Guarango, los agricultores han abandonado sus tradicionales siembras de maíz o maní para darle mayor importancia a las plantaciones de *Ricinus Communis*”.¹³

Al momento se conocen alrededor de 50 hectáreas dedicadas a la planta Ricino, que hasta hace algunos años no era sinónimo de negocio de éxito para persona alguna.

¹¹ HOFFMAN, Matthäus. (2007): Biocombustibles como Energía Alternativa: una mirada hacia la región. Servicio Alemán de Cooperación Social y Técnica.

¹² www.eldiario.com.ec: La higuierilla fomenta la economía de El Guarango, Portoviejo, octubre 28, 2008.

¹³ www.eldiario.com.ec: La higuierilla fomenta la economía de El Guarango, Portoviejo, septiembre 26, 2008.

Otras zonas como Manabí, entre ellas Tierra Bonita y La Recta, han optado por el cultivo de Higuierilla; en estos lugares los campesinos se aseguran que la planta se reproduzca en tres meses, posibilitando hasta cuatro cosechas en un año. “Es importante además enfatizar que se desconoce la existencia de algún ofertante ecuatoriano que como tal provea Higuierilla como materia prima para producción de biocombustibles y demás usos, lo que resulta atractivo cuando se conocen las bondades de la Ricino, más aún cuando uno de los más grandes informantes, presentadores de reportes de etanol y biocombustibles en el mundo F.O. Litchs, señala que la producción de biodiesel crecería entre un 10% a 12% anualmente desde los actuales 9,580 millones de litros, tomando relevancia las exportaciones hacia Argentina (debido a su capacidad de procesamiento y a su estructura de impuestos favorables) y Estados Unidos (el segundo mayor productor de agrocombustibles hasta el momento), producto de la sorprendente demanda a nivel mundial; prueba de ello es el fuerte incremento en las importaciones estadounidenses de biodiesel (de 700,000 litros en el 2005 a 1,000 millones de litros en promedio al año, a partir del 2006), y aún así los expertos señalan que la demanda de aceites vegetales supera al suministro producido, especialmente en los países de la UE”.¹⁴ En tales circunstancias, muchos agricultores han optado por dejar de lado sus cultivos tradicionales para enfocarse en el cultivo de la higuierilla para efectos de exportación.

TABLA I.4 Estimación de la producción de oleaginosas en Ecuador en TM. Año 2003

PRODUCTO	ESMERALDAS	MANABI	GUAYAS	SUCUMBIOS	NAPO	ORELLANA	GALALÁPGOS
Ajonjolí		27.00	1.00				
Coco	6.5	11011.00	1568.00	770.00	260.00	95.00	6.00
Higuierilla		607,00	205.00				
Maní	75.00	4778.00	316.00				25.00
Palma africana	326.65	22845.00	31.35	124046.00		85.00	
Palma real		872,00					
Palmito	215.00		375.00		680.00	16.80	

Elaboración: SIGAGRO (Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria) - Remigio Jara

Fuente: Direcciones Provinciales MAG (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación) - Agencias de Servicio Agropecuario.

¹⁴ F.O.Litch: producción mundial de biodiesel crecerá un 12% al año. Sao Paulo: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Agosto 2008.

1.6.2 CICLO GERMINATIVO

La mayoría de variedades de higuierilla, tienen un ciclo germinativo prácticamente similar.

TABLA I.5 Ciclo germinativo en días.

ETAPAS	DÍAS
Ciclo	150 a 250 días
Contenido de aceite en la semilla	47 a 48 % (45 – 50)
Productividad Media (baja)	1000 kg/ha (700 – 2000)
Rendimiento del aceite vegetal	470 kg/ha

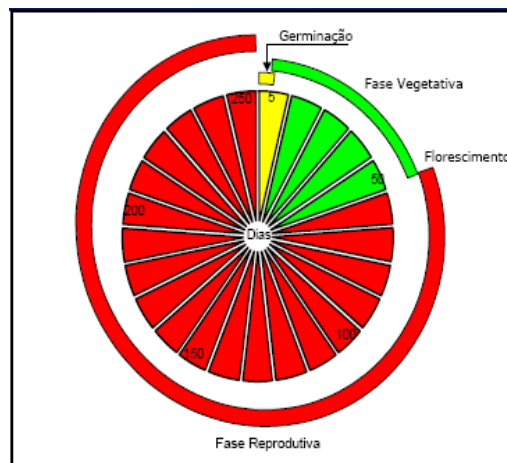


FIGURA 1.17 Ciclo productivo del ricino.

1.6.3 COSECHA DE LA HIGUERILLA

La cosecha puede comenzar cuando menos de la mitad del racimo está secando, de no ser así, la planta se abre y cae al suelo, lo que significa pérdidas de tiempo y de producto; se recomienda entonces que la persona que hace esta labor, revise cada 8 ó 10 días el cultivo después de la primera cosecha, para así recolectar durante todo el tiempo que se puedan los granos.

La cosecha puede hacerse con recipientes plásticos colgados a la cintura, mediante la ayuda de unas tijeras ir cortando los racimos que presenten las debidas características. Se deben cosechar en horas frescas de la mañana antes que se deshidraten los frutos, y suspender la cosecha en horas cercanas al medio día, que es el período en que los frutos se abren y las semillas caen al suelo.

Después de que se recolectan los racimos, estos deben ser puestos a secar al sol; se pueden secar los racimos poniéndolos sobre plásticos negros para que la luz sea totalmente aprovechada como calor y en caso de lluvias pueda recogerse fácilmente y evitar el contacto con el agua. Después que la mayoría de los granos están sueltos o libres de sus cápsulas, se puede separar mediante un ventilador, un tamiz o manualmente.

Las cápsulas que quedan cerradas pueden abrirse de la siguiente manera: se ponen las cápsulas que no abrieron en un costal y posteriormente se golpean contra el suelo (evitar pisos de cemento o baldosa) de manera que el golpe las abra. La semilla puede almacenarse hasta por dos años y no pierde sus características fisicoquímicas, lo que puede ser una ventaja para recolectar cantidades que ameriten su transporte hasta un lugar de acopio. Hay variedades dehiscentes y las variedades indehiscente

1.7 COMPOSICIÓN DE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA

El producto activo es la ricenina ($C_8H_8N_2O_2$) que es altamente tóxica para el hombre y los animales, debiendo tener cuidado con los residuos de este compuesto en la extracción del aceite, llamado torta el cual es mortal, bastando tan solo 2 milésimas de gramo para matar un conejo; su uso es mas como plaguicida, a la vez que constituye biomasa.

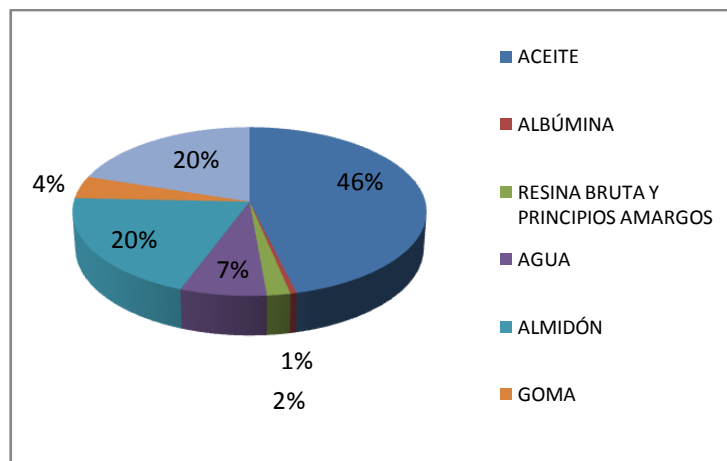


FIGURA 1.18 Composición de la higuera.

Con respecto al pericarpio se tiene:

TABLA I.6 Composición del pericarpio.

Resina bruta y principios amargos	1.91
Goma	1.91
Fibra leñosa	20.00

Fuente: Cultivo del Ricino, por el Ing. Gustavo E. Spangenberg.

Con respecto a la almendra, se tiene:

TABLA I.7 Composición de la almendra.

Aceite graso	46.19
Goma	2.40
Almidón y fibra leñosa	20.40
Albúmica	0.50
Agua	7.09

Fuente: Cultivo del Ricino, por el Ing. Gustavo E. Spangenberg.

1.8 PROPIEDADES DEL ACEITE DE HIGUERILLA O RICINO

El aceite de higuera, conocido comúnmente como aceite de ricino, se obtiene mediante la aplicación de presión y la extracción de solventes. La producción tanto de las semillas como del aceite se realiza actualmente en su mayor parte en India, Brasil y se consume sobre todo en Estados Unidos, Europa y Japón, principalmente para usos industriales. Está compuesto casi enteramente por triglicéridos del ácido ricinoléico.

extrae de las semillas de la Ricinus Communis L. se emplea en motores de altas revoluciones, y este mismo aceite refinado se utiliza en la producción de cosméticos, aun en productos medicinales, especialmente para efectos purgativos o para aplicaciones de úlceras o brotes sobre la piel. El aceite sulfonado de higuera se conoce también por su utilidad en la impresión y acabado de tejidos de algodón, lino y seda. Este aceite en su estado de deshidratación sirve como base en la preparación de líquidos para frenos, pinturas; cuando el aceite de ricino se disuelve en alcohol, es útil en la producción de lociones, perfumes; tiene su importancia además en la manufactura de plásticos y de nylon.

TABLA I.8 Composición del aceite de ricino.

Ácidos saturados	2.4
Ácido dihidroxiesteárico	0.6
Ácido oléico	7.4
Ácido ricinoléico	87.0
Ácido linoléico	3.1

Fuente: PROQUIMCOL LTDA.

TABLA I.9 Características generales del aceite de ricino.

Ácido Ricinoléico	70%
Ácido Ricínico	12%
Ácido Oléico	12%
Índice de Saponificación	181%
Índice de Refracción (25°C)	1.47

Fuentes: Consejo Hondureño de la Empresa Privada (COHEP)

TABLA I.10 Propiedades físicas y químicas.

CARACTERÍSTICAS	RANGO
Índice de Yodo (Wijs):	81 a 91
Valor Hidroxilo:	160 min
Solubilidad en agua:	Muy escasa.
Temperatura de autoignición:	448 °C *

Fuente: PROQUIMCOL LTDA.

* Indica la temperatura la temperatura mínima, a presión de una atmósfera, a la que un gas inflamable en contacto con el aire arde espontáneamente o es calentado en su superficie sin necesidad de una fuente de ignición.

Las especificaciones del aceite de Higuierilla grado industrial, facilitado por PROYCOMTEC, son:

TABLA I.11 Propiedades físicas y químicas del aceite de higuierilla.

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS		METODO AOCS	
COLOR (LOVIBOND CELDA 5 ¼)	-----	Y: 10/R: 1.3	Cc 13e-92
ACIDOS GRASOS LIBRES (OLEICO)	%	1.01	Ca 5a-40
HUMEDAD & VOLATILES	%	0.20	Ca 2b-38
PESO ESPECÍFICO A 25 °C.	-----	0.9636	Cc 10a-25
INDICE DE YODO (WIJS)	cg./g	85	Cd 1-25
INDICE DE HIDOXILO	mg./g.	160-168	Cd 13-60
INDICE DE REFRACCION A 25°C		1.4775	Cc 7-25
INDICE DE SAPONIFICACION	mg/g	177.8	Cd 3 - 25
IMPUREZAS INSOLUBLES	%	0.01 MAX	Ca 3 - 46
ASPECTO		CLARO Y BRILLANTE	
OLOR		CARACTERISTICO A RICINO	

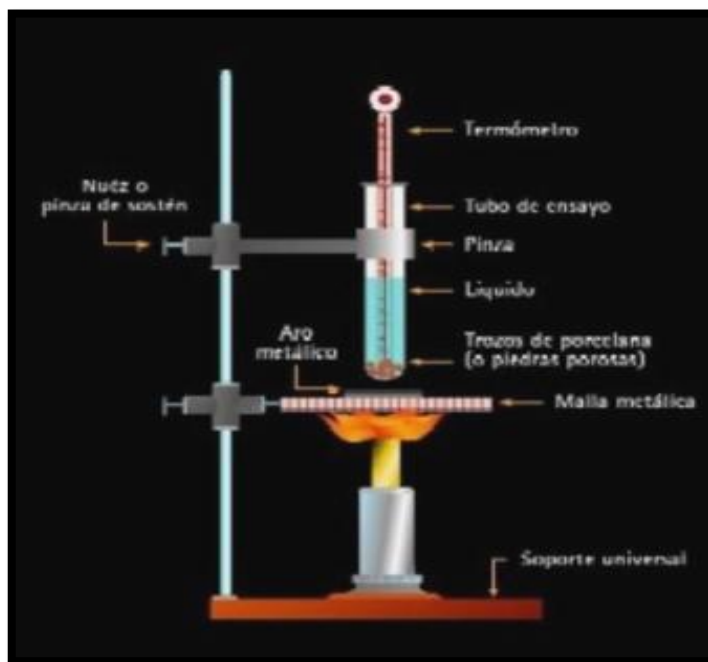
Ver Anexo “A” (Certificado de análisis).

El METODO AOCS, es un método analítico en los aceites; se refiere a una medida del grado de descomposición de los triglicéridos del aceite.

1.8.1 PUNTO DE EBULLICIÓN

El punto de ebullición es la temperatura a la cual la presión de vapor del líquido es igual a la presión del medio que rodea al líquido. “En esas condiciones se puede formar vapor en cualquier punto del líquido es decir la temperatura que debe alcanzar para pasar del estado líquido al gaseoso”.¹⁵

La temperatura de una sustancia o cuerpo es una medida de la energía cinética de las moléculas. A temperaturas inferiores al punto de ebullición, sólo una pequeña fracción de las moléculas en la superficie tiene energía suficiente para romper la tensión superficial y escapar.



¹⁵ Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Punto_de_ebullici%C3%B3n.

FIGURA 1.21 Método para obtener el punto de ebullición.

Este parámetro, así como los que se detallan a continuación; se los obtuvieron mediante ensayos de caracterización en el Departamento de Petróleos, Energía y Contaminación de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Central del Ecuador. Ver Anexo “B” (Ensayos de Caracterización Universidad Central del Ecuador). Se obtuvo este dato a través de un método interno, medido a 543.8 mmHg.

Punto de ebullición del aceite de higuera: 306 ° C

1.8.2 PUNTO DE CONGELACIÓN

“El punto de congelación de un líquido es la temperatura a la que dicho líquido se solidifica debido a una reducción de temperatura”.¹⁶ Se lo obtuvo a través del método ASTM D38.

Punto de congelación del aceite de higuera: -45.6° C

Es la temperatura a la que un líquido se solidifica. Se debe distinguir entre el punto de enturbiamiento (*cloud-point*) o temperatura en que se forman micro-cristales, y el punto de congelación inferior (*pour point*) cuando el líquido se hace pastoso y no fluye. El punto de congelación superior es la temperatura en la cual el hidrocarburo retorna a su estado fluido al recalentar el producto luego de una prolongada solidificación. El punto de congelamiento en los hidrocarburos aumenta con el peso molecular con algunas excepciones.

1.8.3 DENSIDAD API

La densidad es una medida de cuanta masa de material cabe en una unidad de volumen. Se representa aquí por ρ . Este parámetro se lo obtuvo mediante ensayos de

¹⁶ Disponible en http://es.wikipedia.org/wiki/Punto_de_congelaci%C3%B3n.

caracterización, se determinan siguiendo los procedimientos estandarizados por las normas ASTM. Este ensayo se lo realiza siguiendo la norma ASTM D-287. El método se basa en el principio de que la densidad de un líquido varía directamente con la profundidad de inmersión de un cuerpo sólido que flota en dicho líquido. En el ensayo, este cuerpo se encuentra graduado en unidades de densidad API y recibe el nombre de hidrómetro.

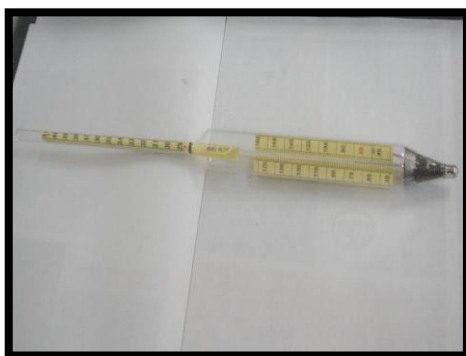


FIGURA 1.22 Hidrómetro ASTM H4.

Ver Anexo “B” (Ensayos de Caracterización Universidad Central del Ecuador)

Densidad API del aceite de higuera a 60°F: 15.6 ° API

Según la densidad, los crudos pueden ser clasificados en:

TABLA I.12 Clasificación de derivados del petróleo.

TIPO DE CRUDO	°API	DENSIDAD ($\frac{Kg}{m^3}$)
Liviano	>31.1	<870
Medio	22.3 - 31.1	920 - 870
Pesado	10.0 - 22.3	1000 - 920
Extrapesado	<10	>1000

De acuerdo a la Tabla I.12, el aceite de higuera es un aceite pesado. La densidad se la obtuvo, mediante ensayos en el Laboratorio de Química de la Unidad Educativa Técnico Particular Hermano Miguel, luego del análisis realizado por vía húmeda. Ver Anexo “C” (Pruebas de Laboratorio Colegio “Hermano Miguel”).

Densidad del aceite de higuera 0.780 gr/cc.

Ambos valores son cercanos, por lo que son aceptables.

1.8.4 VISCOSIDAD CINEMÁTICA

Este parámetro se lo obtuvo mediante ensayos de caracterización, se determinan siguiendo los procedimientos estandarizados por las normas ASTM. Este ensayo se lo realiza siguiendo lo expresado en la norma ASTM D-445. El método utilizado consiste en medir el tiempo que se demora un cierto volumen del líquido en análisis en fluir por la gravedad a través de un tubo capilar de un viscosímetro calibrado a temperatura controlada conocida.



FIGURA 1.23 Viscosímetro Canon-Fenske para líquidos transparentes.

Ver Anexo “B” (Ensayos de caracterización Universidad Central del Ecuador).

Viscosidad Cinemática del aceite de higuera a 37.8 °C: 289.56 cSt *

* INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD CINEMÁTICA $U = \pm 64.02 \text{ cst (K=2)}$.

Esta incertidumbre se refiere a los límites permitidos para que se cumpla con la propiedad de viscosidad determinada para el aceite, similar al rango permisible

1.8.5 CORROSIÓN

“El aceite como combustible inevitablemente está en contacto con aire y agua. El almacenamiento con aire puede llevar a la formación de gomas y sedimentos. La inestabilidad puede causar el taponamiento de filtros, formación de depósitos en la cámara de combustión, y gomosis o lacas en los componentes del sistema de inyección con el resultado de atascamiento y desgaste”.¹⁷

Este factor está determinado por el índice de acidez del aceite, el mismo que tiene cierta tendencia a corroer metales. Está regulado por la norma ASTM D 974. Ver Anexo “B” (Ensayos de caracterización Universidad Central del Ecuador).

Índice de Acidez: 0.87 mgKOH/g Aceite

El aceite de higuera, por ser de origen vegetal, prácticamente actúa como un agente protector contra los contaminantes corrosivos del aceite de origen fósil, impidiendo el ataque de cualquiera de las piezas del motor. En cuanto a otro parámetro importante como lo es el índice de cetano calculado*, no se determinó ya que no se alcanza la temperatura media de ebullición del 50% en volumen destilado, por el método de destilación ASTM D86.

TABLA I.13 Otros parámetros obtenidos mediante ensayos de caracterización

¹⁷ Disponible en <http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion>

DETERMINACIÓN	MÉTODO	RESULTADO
Poder calorífico bruto	ASTM D240	9530 kcal/kg
Punto de vertido	ASTM D97	-34.4 °C
Punto de inflamación**	ASTM D92	282.2 °C
Punto de nube	ASTM D 2500	- 17.2 °C
Índice de cetano calculado*	ASTM D976	No determinado

** INCERTIDUMBRE ASOCIADA A LA MEDIDA DEL PUNTO DE INFLAMACIÓN

$$U = \pm 20^{\circ} \text{C} (K=2).$$

Esta incertidumbre se refiere a los límites permitidos para que se cumpla con el parámetro de punto de inflamación determinada para el aceite, similar al rango permisible

1.9 COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN UN MOTOR DIESEL

El diesel combustible, se obtiene a partir del petróleo fósil (15-18 átomos de carbono), contiene hidrocarburos más livianos al de la gasolina, es más pesado y aceitoso. Los motores se diseñan para 40-55 de índice cetano. México y Japón usan índices de 52-55 cetano, mientras que Canadá usa índice 44. El gas-oil o diesel se enciende espontáneamente a 280°C, su densidad es 15% mayor al de la gasolina 850 gr/L. Su energía es de 38,65 MJ/L ó 45,47 MJ/kg.

TABLA I.14 Especificaciones para combustibles diesel.

		GRADO ASTM DEL COMBUSTIBLE DIESEL			Especificación militar de EU.
		1-D	2-D	4-D	
PRUEBA	MÉTODO	LÍMITE			MIL-F-

	ASTM				16884G
Punto de inflamación, min., °F	D93	100 o legal.	125 o legal.	130 o legal.	140
Agua y sedimento, <i>V₀</i> en volumen máx.	D1796	Trazas.	0.10	0.50	
Mín.		1.3	1.9	5.5	1.8
Máx.		2.4	4.1	24	4.5
Ceniza, porcentaje en peso, % máx.	D482	0.01	0.01	0.10	0.005
Azufre, porcentaje en peso, % máx.	D129	0.50	0.50	2.0	1.00
Calidad de encendido, número de cetano, mín.	D613	40	40	30	45
Mín.			540		
Máx.		550	640		

Para aplicaciones marinas debe cumplir requisitos especiales. La ASTM D975, define tres grados:

Grado 1D.- Volátil para motores que requieren cambios frecuentes de velocidad y de carga.

Grado 2D.- Volatilidad más baja para motores en servicio industrial y móvil de tipo pesado.

Grado 4D.- Para motores de velocidad baja y media

Tipo R-R.- Combustibles para motores diesel de ferrocarril.

Tipo S-M.- Combustibles destilado pesado y residual para motores diesel estacionarios grandes y aplicaciones marinas.

“En el Ecuador, se comercializa dos tipos de diesel: el común (5 000 y 6 000 ppm - partículas por millón-) y el Premium (500 ppm)”.¹⁸

1.9.1 CARACTERÍSTICAS DIESEL COMÚN

Los componentes de este producto son hidrocarburos que destilan entre los 200°C y 300°C, los hidrocarburos más importantes que entran en la composición química de este combustible son: parafínicos, izoparafínicos, aromáticos (monociclo y biciclo), nafténicos y estructuras mixtas nafteno-aromático. Tiene una buena combustión, con llama blanca amarillenta debido al bajo contenido de hidrocarburos aromáticos. La apariencia del producto es blanca transparente y la acidez orgánica se expresa en mg de KOH/ 100 ml, no sobrepasa de 1,4 %, lo cual evita la acción corrosiva sobre los metales.

TABLA I.15 Especificaciones para el diesel común.

¹⁸ www.elhoy.com. Ecuador Comprará diesel a Colombia y Venezuela ante crisis energética. Noviembre 11, 2009.

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO*	MÁXIMO	MÉTODO ENSAYO
Punto de inflamación	°C	40	--	INEN 1047
Corrosión lámina de cobre	--	--	N° 2	INEN 927
Temperatura de destilación 90%	°C	--	288	INEN 926
Agua y sedimentos	% en V	--	0.15	INEN 1494
Índice de cetano calculado	--	40	--	INEN 1495
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo	% en peso	--	0.15	INEN 1491
Cenizas	% en peso	--	0.01	INEN 1492
Viscosidad Cinemática 38°C	cSt	1.3	3.00	INEN 810
Contenido de azufre	% en peso	--	0.30	INEN 1049
Calor de combustión	KJul/Kg.	--	45914	ESTIMADO
Densidad	Kg/m3	850		ESTIMADO

Fuente: Unidad de Programación de Abastecimiento de Combustibles.

1.9.2 CARACTERÍSTICAS DIESEL 2

Es la fracción más pesada que se obtiene del petróleo por destilación atmosférica, por lo tanto es la fracción que destila entre la temperatura que termina la destilación del Diesel 1 y aquella temperatura hasta la cual se puede calentar el petróleo sin que se produzca rompimiento de moléculas (craqueo). Los hidrocarburos presentes en este combustible son de carácter saturado como los parafínicos, nafténicos, así como, aromáticos y de carácter mixto. Tiene resistencia baja al autoencendido, es decir, se enciende por compresión y su tensión superficial baja permite la fácil pulverización en los inyectores, su bajo contenido de azufre admite la utilización de lubricantes con bajo contenido de alcalinidad (número de TBN).

TABLA I.16 Especificaciones para el diesel 2.

REQUISITOS	UNIDAD	MÍNIMO*	MÁXIMO	MÉTODO ENSAYO
Punto de inflamación	°C	51	--	INEN 1493
Corrosión lámina de cobre	--	--	N° 3	INEN 927
Temperatura de destilación 90%	°C	--	370	INEN 926
Agua y sedimentos	% en V	--	0.05	INEN 1434
Índice de cetano calculado		45		INEN 1495
Residuo carbonoso sobre el 10% del residuo	% en peso	--	0.15	INEN 1491
Cenizas	% en peso	--	0.01	INEN 1492
Viscosidad cinemática 38°C	cSt	2.5	6.00	INEN 810
Contenido de azufre	% en peso	--	0.70	INEN 1490
Calor de combustión	--	--	--	--

Fuente: Unidad de Programación de Abastecimiento de Combustibles.

1.9.3 DIESEL PREMIUM

El diesel ecológico Premium es un combustible obtenido de la destilación primaria del petróleo. Es un destilado medio que se encuentra entre el kérex y el aceite lubricante. Sus componentes elementales son el carbono, el hidrógeno y el azufre. El producto ecológico tiene un máximo del 0.05% de azufre, es decir 0.65% menos que el diesel 2. Esta característica cumple con la Ordenanza Municipal que prohíbe el expendio de diesel que esté fuera de las especificaciones de la Norma INEN 1489.

1.9.3.1 Ventajas del uso del producto

El menor porcentaje en peso de contenido de azufre en el diesel Premium hace posible:

Reducir las emisiones gaseosas tóxicas como el dióxido de azufre (SO₂) y trióxido de azufre, (SO₃); gases que cuando entran en contacto con el agua, H₂O, forman la llamada lluvia ácida", cuyo efecto es tóxico y nocivo para los ecosistemas.

Disminuir el efecto corrosivo en los motores y accesorios metálicos de los vehículos, aumentando la vida útil de los mismos y mejora la calidad del aire.

En cuanto a sus aplicaciones tenemos:

La segunda fracción importante que se obtiene en la destilación atmosférica del petróleo, es la conocida como destilados medios que comprenden los productos Diesel 1, Jet A-1, Diesel 2 y Diesel Premium.

Referente a sus características:

El Diesel Premium, se obtiene disminuyendo el contenido de azufre del Diesel 2, mediante procesos catalíticos de inyección de Hidrógeno se eliminan los compuestos de azufre. Las demás características son las mismas que las del Diesel 2.

Es utilizado en vehículos que por regulaciones ambientales de control de emisiones, los motores están diseñados para funcionar con combustibles con muy bajo contenido de azufre.

1.9.4 COMPARACIONES DE EMISIONES EN EL MOTOR DIESEL

Los datos de emisiones obtenidos en unidades de (g/s), sirve para saber cuánto contamina un motor ya sea en el tiempo, por kilómetros recorridos o por consumo de combustible. Tales valores son útiles para determinar los factores de emisión y obtener un inventario de emisiones, es decir cuánto contribuye un tipo de motor a la contaminación global de una ciudad.

TABLA I.17 Comparación de los niveles de emisiones entre el biodiesel y el gasóleo

EMISIÓN	BIODIESEL al 100% (Kg/100Km)	BIODIESEL al 30% (Kg/100Km)	GASÓLEO (Kg/100Km)
CO	0,37	0,43	0,46
HC	0,03	0,04	0,04
NOx	2,73	3,37	3,64
Partículas	0,62	1,48	1,85
CO₂	0,87	3,53	4,67
SO₂	0	1.14	1.62

CAPÍTULO II

2. OBTENCIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA

2.1 PROCESOS DE OBTENCIÓN DEL ACEITE

Previo a la extracción del aceite, se hacen algunos pasos adicionales tales como:

- Almacenamiento y conservación de la semilla.



FIGURA 2.1 Almacenaje de las semillas.

- La limpieza y clasificación de la semilla es importante porque, si el cuerpo extraño posee aceites puede hacer variar los índices característicos del aceite que se va a obtener.



FIGURA 2.2 Semillas en mal estado.



FIGURA 2.3 Semillas en buen estado.



FIGURA 2.4 Cuerpos extraños.

- El descascarado debe realizarse cuando la cascara impide la extracción de aceite, o bien cuando por no poseer materia grasa la absorbe en el proceso de extracción, disminuyendo el rendimiento y la calidad del subproducto. Ej. Girasol, algodón. Se realiza con una descascaradora y luego por medio de una zaranda se separa la cascara de la semilla.



FIGURA 2.5. Descascarado manual de las semillas.

- El secado se hace usando secadores verticales u horizontales, con la finalidad de que la humedad no supere ciertos límites, sobre los cuales influiría en el proceso de extracción.



FIGURA 2.6 Secado natural de las semillas.

- En la molienda se desgarran las células para dejar en libertad el aceite contenido en ellas, para ello se las somete al prensado. Las prensas pueden ser hidráulicas o discontinuas y continuas.



FIGURA 2.7 Molienda de las semillas.

2.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE POR PRESIÓN

La extracción por presión se lleva a cabo casi exclusivamente por prensas continuas, por la economía de sus instalaciones, pero no realiza una profunda extracción de las materias grasas contenidas en sus semillas.



FIGURA 2.8. Prensa para la extracción de aceite de higuera

En recipientes calentadores de doble fondo se calientan las semillas molidas a temperaturas que oscilan entre 90 °C y 95 °C. El calentamiento busca eliminar el exceso de humedad de las semillas con lo cual se aumenta el rendimiento al lograrse mayores presiones y facilitarse la fluidez del material trabajado. Luego las semillas pasan a una cuba de acero, que posee en su interior un tornillo sinfín, en el cual, el número de espiras y el diámetro aumenta de un extremo al otro, viéndose la semilla obligada a pasar por espacios cada vez más reducidos, aumentando de esa manera la compresión; logrando así extraer el aceite.

El aceite obtenido se vierte a tanques de sedimentación, quedando como subproducto el expeller, el cual generalmente se somete a una segunda presión. El expeller final posee entre el 6-7 % de aceite. Posteriormente, por un proceso de filtración se elimina del aceite todo lo que no sea materia grasa, como resto de expeller.

Los aceites industriales pueden usarse luego de esta operación, los aceites comestibles deben ser sometidos a una posterior refinación.



FIGURA 2.9 Prensa hidráulica

2.2.1 EXTRACCIÓN DEL ACEITE POR SOLVENTES

Este sistema se caracteriza por su gran rendimiento, poco empleo de mano de obra y fuerza motriz; permitiendo la recuperación del solvente utilizado. Esta consiste en el laminado de la materia prima, donde el material, sin sufrir extracción ni molienda, toma forma de láminas delgadas que favorecen la difusión. La semilla laminada circula por una cinta transportadora, donde queda sometida a un rociado intenso del disolvente. La solución obtenida de aceite-solvente, es enviada a destilación para separar el aceite del solvente. A su vez la materia prima agotada se seca y tuesta para recuperar el resto del solvente. El disolvente usado es hexano, siendo este el más inofensivo para la salud y el que produce aceite más puros.



FIGURA 2.10 Aceites crudos extraídos de especies chocoanas usando hexano.

2.2.2 EXTRACCIÓN DEL ACEITE MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO

Se hace una primera extracción utilizando el método por presión continua y luego una segunda extracción con solvente. Una vez que se ha extraído el aceite, viene lo que es el refinado, la finalidad del mismo es la eliminación de impurezas tales como ácido grasos libres, sustancias proteicas, resinas, algunas aminas estables, carbohidratos y fosfátidos.

Las operaciones para realizar este proceso son:

- **Neutralizado:** Para reducir el grado de acidez de los aceites.
- **Decoloración o blanqueado:** Para la obtención de un aceite claro, límpido y brillante.
- **Desodorización:** Se eliminan del aceite las sustancias que tienen olores y sabores desagradables.
- **Desmargarización:** Es la eliminación de ciertos lípidos que precipitan a temperatura ambiente, enturbiando el aceite.

El aceite de oliva generalmente no se lo somete a este proceso siendo consumido como aceite crudo. En cuanto a eficiencia en la extracción de aceite, la semilla de la higuera, presenta el porcentaje más alto, además es una especie que puede asociarse perfectamente con cultivos típicos.

TABLA II.1 Cultivos agrocombustibles: rendimiento y eficiencia en la extracción del aceite.

CULTIVO	PARTE DE EXTRACCIÓN DE ACEITE	EFICIENCIA EN LA EXTRACCIÓN DE ACEITE	PRODUCCIÓN DE ACEITE EN MONOCULTIVO (kg./ha.)
Aguaje	Pulpa	28.07%	800 – 1200
Girasol	Semilla		800

		-	
Palma Aceitera	Pulpa	-	4000
Piñón	semilla	44.85%	1700
Higuerilla	semilla	46.96%	1200
Sacha Inchi	semilla	-	-
Soya	semilla	-	375

Fuente: Universidad Nacional Agraria La Molina.

2.3 RENDIMIENTO DE LAS SEMILLAS DE HIGUERILLA

El Centro de Investigación y Promoción del campesinado (CIPCA) de Bolivia, el Organismo de Cooperación Técnica Internacional (ITDG) de Perú, en conjunto con la Universidad Agraria La Molina (UNALM) en Perú) concluyen lo siguiente respecto a los rendimientos de algunos cultivos como potenciales en la producción de biocombustibles.

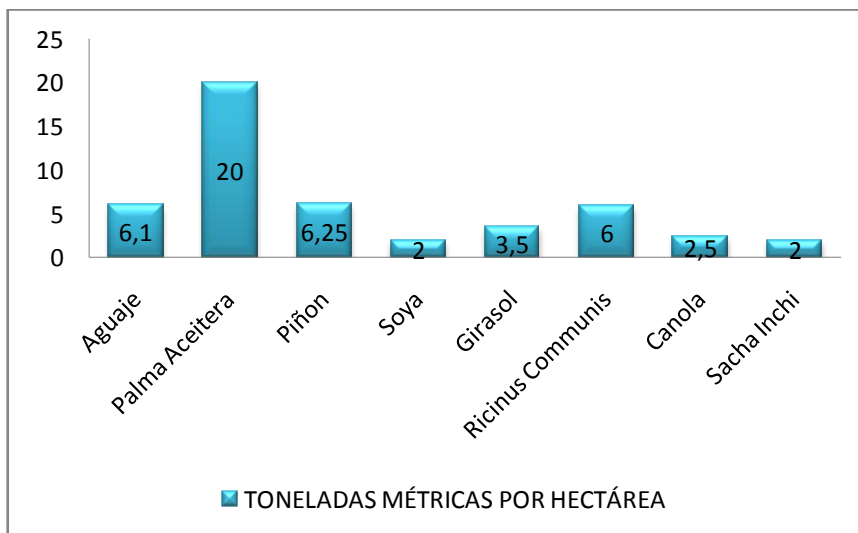
“Ciertamente, la palma aceitera posee el mayor rendimiento en comparación con el resto de oleaginosas, pero el problema radica en su competencia con la seguridad alimentaria, mientras que las plantas como el Piñón y la Higuerilla presentan, luego de la Palma, los rendimientos más representativos, con la característica particular de que estas especies no son aptas para el consumo humano, debido a sus

propiedades tóxicas y a las condiciones o tipos de suelo en los que se posibilitan sus cultivos”.¹⁹

TABLA II.2 Rendimiento de cultivos agrocombustibles (Toneladas métricas por hectárea)

CULTIVO	RENDIMIENTO (Tm/ha)
Aguaje	6.1
Palma Aceitera	20
Piñón	6.25
Soja	1.5-2
Girasol	2.0 – 3.5
Higuerilla	4.0 – 6.0
Canola	2.5
Sacha Inchi	0.7 – 2.0

Fuente: CIPCA, ITDG, UNALM

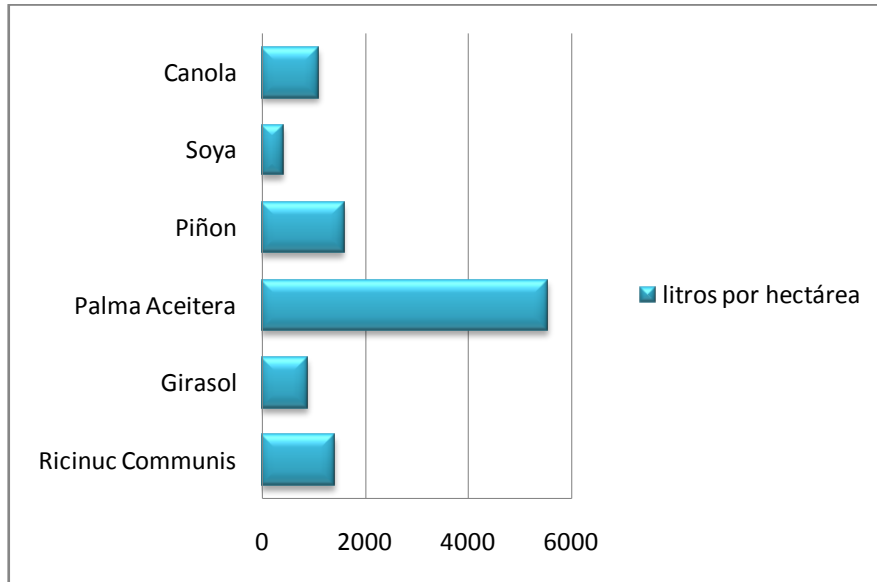


Fuente: Instituto Alto Andino

¹⁹ Escuela Superior Politécnica del Litoral. (2009). (En línea). Tesis: "Producción y Exportación de la Higuerilla (Ricinus Communis L.) a Colombia como Materia Prima para la Elaboración de Biocombustibles". (p.41). Consultado el 28 de agosto del 2009. Disponible en: www.espol.edu.ec

FIGURA 2.11 Rendimiento de cultivos útiles para la producción de biocombustibles.

En términos de rendimientos de los cultivos en la producción de biodiesel, la Ricinus Communis L., puede producir alrededor de 1,412 litros/ha.



Fuente: Instituto Alto Andino

FIGURA 2.12. Rendimiento de cultivos oleaginosos en la producción de biodiesel.

TABLA II.3 Rendimiento de la higuera, acorde a su tiempo de madurez.

TIEMPO	AÑO 1		AÑO 2 – 5	
	COSECHA/KGS	QUINTAL (46 KGS)	COSECHA/KGS	QUINTAL (46 KGS)
Mes 0	0	0	0	0
2do Mes	0	0	7500	163
4to Mes	7500	163	7500	163
6to Mes	7500	163	7500	163
8vo Mes	7500	163	7500	163

10mo Mes	7500	163	7500	163
12vo Mes	7500	163	7500	163
TOTAL ANUAL	3750	815	45000	978

Fuente: Elaboración Paola Proaño.

2.4 CONSERVACIÓN DEL ACEITE

Finalmente esta el envasado, previo a esto se lo estaciona en tanques especiales de acero inoxidable, para luego realizar las mezclas o bien dejarlo puro.

2.5 TEMPERATURA

Prácticamente se puede almacenar el aceite a una temperatura promedio del medio ambiente en el que se encuentre. Para la ciudad de Latacunga la temperatura promedio actualmente bordea los 18 -19 °C.

2.6 CONDICIONES FÍSICAS DE ALMACENAMIENTO

El aceite puede conservarse a temperatura ambiente, ya que su bajo punto de congelación permite esta manipulación, sin exposición directa al sol, manteniéndolo en un lugar fresco y seco. El envase donde se deposite el aceite deberá estar lleno en lo posible, esto para evitar la oxidación.²⁰. Ver Anexo "D" (Hojas de Seguridad)

2.7 ALMACENAMIENTO EN TANQUES RESERVORIOS

Para conservar el aceite en tanques, se recomienda lo siguiente:

- Evitar una insolación directa del tanque.
- Se recomienda que se construya bajo sombra, para mantener una temperatura constante en la medida de lo posible baja-.

²⁰ SPECIAL OIL S.A. Hoja de Seguridad. Marzo 03, 2008.

- Debe ser de construcción hermética para evitar el ingreso de aire, agua y suciedad.
- No se debe incluir cobre en su construcción.
- La salida del aceite debe estar ubicada 15 cm más arriba del fondo del tanque.
- Dimensionar el tanque para un consumo de entre 4 y 6 meses.
- Realizar una limpieza del tanque una vez al año.
- Bajo estas condiciones se puede almacenar aceite vegetal por un tiempo de 6 meses. Vale recalcar que el aceite vegetal es considerado un líquido no inflamable y no contaminante para el agua o suelo.

Para el almacenamiento de biodiesel el factor más importante es contar con tanques herméticamente cerrados, pues este biocombustible es higroscópico. Además, se debe tomar en cuenta que el biodiesel es considerado levemente contaminante para agua y suelo.



FIGURA 2.13 Tanque utilizado por Fideicomiso

Oleaginosas del Puerto.

2.8 AGREGADOS ADICIONALES PARA CONSERVAR SU PUREZA

Una vez extraído el aceite, no es necesario de extras para conservarse, la única precaución es mantener hermético el recipiente donde se almacene el producto.

CAPÍTULO III

3. ELABORACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE DE HIGUERILLA

3.1 DEFINICIÓN DE TRANSESTERIFICACIÓN

Es la reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiesel, que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas.

El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

REACCIÓN QUÍMICA DE LA TRANSESTERIFICACIÓN BALANCEADA



Ecuación 1

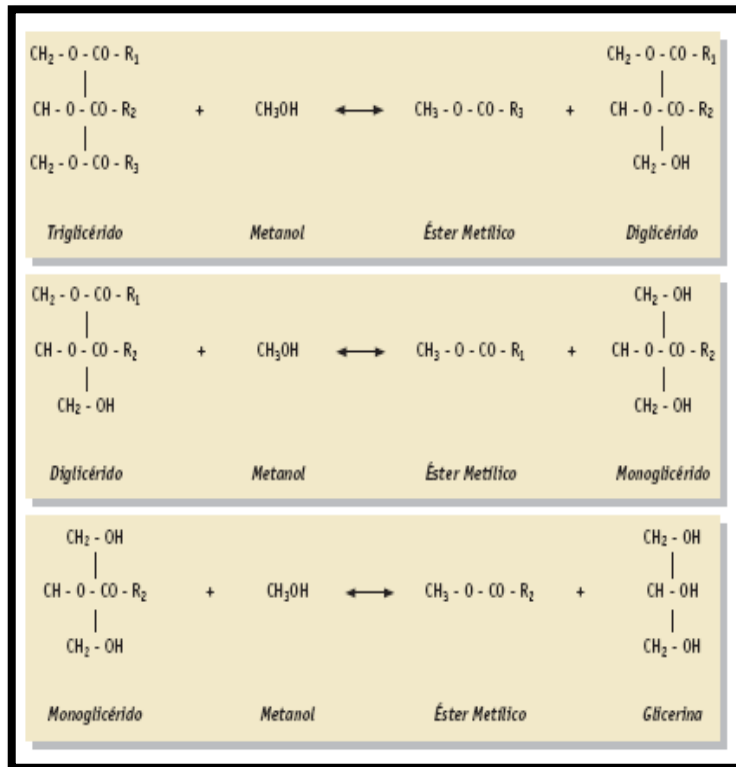
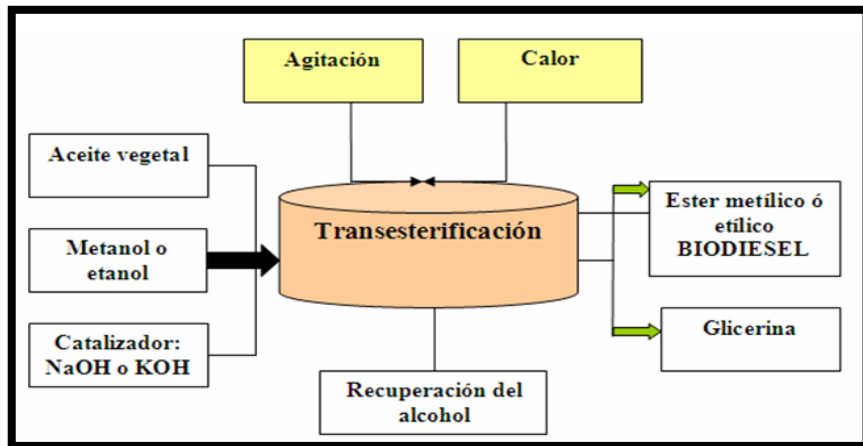


FIGURA 3.1. Procesos químicos ocurridos durante la transesterificación



Fuente: Organización Latinoamericana de Energía

FIGURA 3.2. Proceso de producción de biodiesel mediante transesterificación.

3.1.2 COMPONENTES DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

3.1.1.1 Aceite puro de ricino

El aceite prácticamente es inofensivo a la salud humana, sin embargo hay que tener ciertos cuidados, para precautelar la integridad personal. .



FIGURA 3.3. Aceite de ricino en un balón.

3.1.1.2 Metanol

Tiene que ser usado en su forma pura, totalmente deshidratada, la cual es más cara de obtener. Generalmente la reacción con el metanol no requiere tanto secado; siempre es mejor usar el aceite más seco posible, pero un poco de agua no arruinará la reacción; tal vez resulte en una mayor producción de jabón, y puede que retarde la reacción un poco, pero aún es posible producir biodiesel de buena calidad.

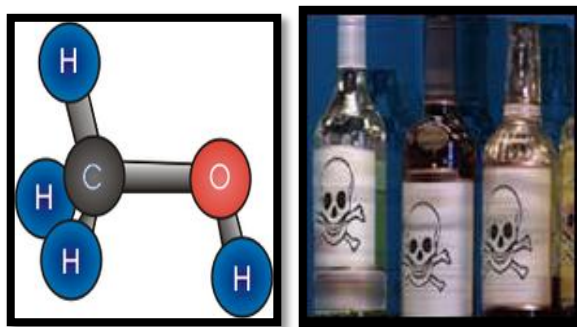


FIGURA 3.4. Fórmula química y presentación comercial del metanol.

Es también tremendamente volátil y por lo tanto aumentaría el riesgo de incendios o de explosiones. Además de los importantes riesgos de incendio y de explosión, una volatilidad más alta significa más emisiones por evaporación.

Ver Anexo “E” (Datos técnicos del metanol)

3.1.1.3 Catalizador

Es necesario contar con catalizadores para que ocurra la reacción que produce el biodiesel y sea posible desde un punto de vista cinético. Estos catalizadores, en el caso de la transesterificación, pueden ser ácidos homogéneos, ácidos heterogéneos, básicos homogéneos o enzimáticos, siendo los catalizadores básicos los que se utilizan a nivel industrial en la transesterificación ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. El único problema de estos catalizadores es que deben ser anhídros para evitar que se produzcan reacciones secundarias, como la de saponificación, que reducirían el rendimiento del proceso.

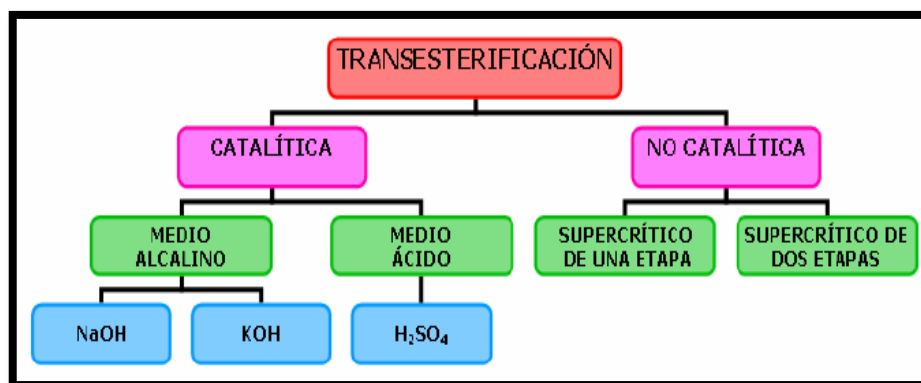


FIGURA 3.5. Metodologías del proceso de transesterificación de aceites.

El catalizador usado para la obtención de biodiesel es el NaOH, debido a que es apto para su fin, ya que el producto final no se formará burbujas. “Para la elaboración del biodiesel, se utilizó un catalizador básico. Este tipo de catalizador es el más común para la producción de biodiesel, debido a que la reacción es más rápida, se utilizan temperaturas bajas y se alcanzan rendimientos del orden de 98%”.²¹

El NaOH también conocido como sosa cáustica, es más barato y generalmente más fácil de conseguir, también es un poco más fácil de manejar por su forma granular. El KOH, también conocido como potasa cáustica, tiene varias ventajas. Una de ellas es que se disuelve más fácilmente en el metanol. Otra es que el producto secundario, el glicerol, es menos tóxico al desechar dado que el potasio es un nutriente para la tierra mientras el sodio en su forma cáustica es tóxico para la tierra. También, la glicerina derivada de la potasa se mantiene líquida, aún en temperaturas frías, mientras que la glicerina derivada de la soda se solidifica muy pronto y es casi imposible de drenar. Finalmente, la potasa cáustica es más tolerante hacia el contenido de agua.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

Para realizar este proceso, hay que seguir una serie de pasos:

- Medir 1000 cc de aceite vegetal en un recipiente seco.
- Caliente el aceite a 48°C.
- En otro recipiente medir el alcohol, a eso añadir la sosa cáustica. Bátalo bien con una cuchara de madera, aplastándolo cuando sea necesario hasta que todas las escamas o copos de nieve desaparezcan; la mezcla debe ser ligeramente nublosa y se denomina "metóxido sódico".

²¹ ESCUELA DE INGENIERÍA DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE PROCESOS UNIVERSIDAD EAFIT. Proyectos de grado 2008. (En línea). Optimización del proceso de obtención de biodiesel a partir de aceite de higuera y aceite de palma mil pesos. (p.200). Consultado el 14 de marzo del 2009. Disponible en *

- Añada la mezcla metanol-sosa al aceite caliente mientras lo agita vigorosamente. Bátalo durante 30 minutos. La mezcla al principio espesa y luego se vuelve más fina que el aceite original.
- Deje que la mezcla sedimente en una vasija alta y fina. El biodiesel flota en la parte superior y puede ser vertido en un contenedor para ser visto. La glicerina y el jabón van al fondo y pueden ser descartados.

Este biodiesel claro puede contener una muy pequeña cantidad de jabón. Si quiere usarlo en su vehículo, puede que no tenga mayor importancia. No obstante, si quiere fabricarlo en grandes cantidades o para la venta, las especificaciones europeas requieren que se retire el jabón por lavado o mediante el proceso conocido como decantación.

3.3 OBTENCIÓN DEL BIODIESEL MEDIANTE EL PROCESO DE TRANSESTERIFICACIÓN

Para la producción de biodiesel se requiere, además del aceite vegetal un alcohol y un catalizador para convertir los aceites y grasas en ésteres alquílicos.

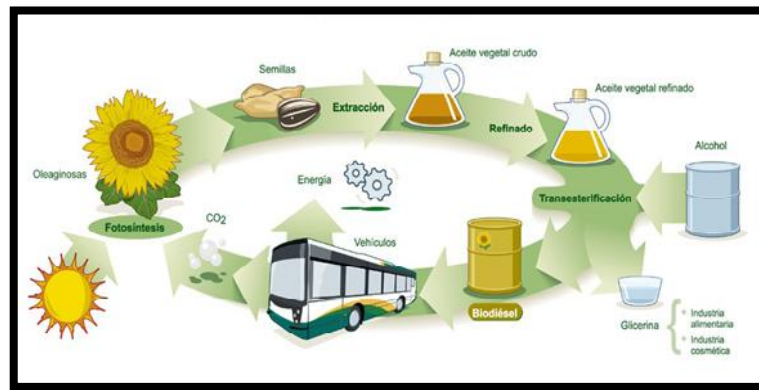


FIGURA 3.6. El ciclo del biodiesel.

Los alcoholes más usados son el metanol y el etanol, debido a su alta reactividad

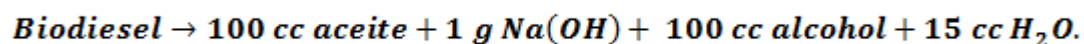
3.3.1 PROPORCIÓN DE MEZCLA ACEITE - METANOL

Se procedió con algunas variantes: el resultado no fue biodiesel sino que se había formado jabón. En vista de aquello, se procedió a realizar una pequeña prueba con aceite comestible; aquí el biodiesel se formó casi instantáneamente.



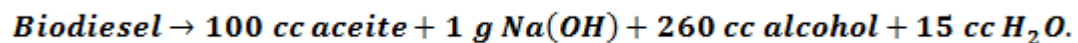
FIGURA 3.7. Biodiesel de aceite comestible.

Quedando las proporciones de los reactivos de la siguiente manera:



Ecuación. 2

Con estas mismas proporciones se realizó el biodiesel de higuera, pero la mezcla se solidificó; entonces se añadió más alcohol, transcurrido cierto tiempo se mantuvo su forma líquida, que es lo que se quería obtener, quedando las nuevas proporciones de la siguiente manera:

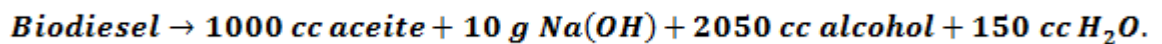


Ecuación. 3



FIGURA 3.8. Biodiesel de aceite de higuera.

Para obtener la cantidad de biodiesel deseado, las proporciones serán:



Ecuación. 4

De esta manera se procedió a realizar el biocombustible, indicando que se realizaron algunas variantes:

- Medir 1000 cc de aceite de higuera.
- Calentar el aceite hasta 48°C.
- En otro recipiente medir 50 cc H_2O .
- Pesarse 5 g de Na(OH) y añadir al agua, mezclar bien hasta que los copos de la sosa desaparezcan.
- Añadir la mezcla anterior al aceite, revolver.
- Medir 1500 cc de alcohol y añadir lentamente al aceite, ya que podría salpicar, revolver constantemente.
- Dejar hervir por una hora a fuego constante, procurando que al ebullición la mezcla, esta no se derrame.

NOTA: Cabe recalcar que para la realización del biodiesel se utilizó alcohol destilado en el laboratorio (a partir de licor de caña) y no metanol, ya que con ambos el resultado es similar.

3.4 CONTROL DE CALIDAD DEL BIODIESEL

La calidad del biodiesel depende de dos factores importantes: el aceite de origen y el grado de correcta fabricación. Así mismo tiene diferente índice de cetano, según el aceite con que se fabrique.

Las propiedades del biodiesel son prácticamente las mismas que las del diesel de automoción en cuanto a densidad y número de cetano. Además, presenta un punto de inflamación superior.

“Por todo ello, el biodiesel puede mezclarse con el diesel para su uso en motores e incluso sustituirlo totalmente si se adapta un intercambiador de calor, mangueras de tipo nylon y filtros adecuados”.²²

La ASTM (*American Society for Testing and Material Standard*) describe al biodiesel como “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o grasas de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión”.

TABLA III.1 Propiedades del biodiesel

²²Disponible: www.miliarum.com/biodiesel_propiedades

Propiedad	Unidad	Límites		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Contenido en éster ^a	% (m/m)	96,5 ^b		EN 14103
Densidad a 15°C ^c	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad a 40°C ^d	mm ² /g	3,50	5,00	EN ISO 3104
Punto de inflamación	°C	120	-	prEN ISO 3679 ^e
Contenido de azufre	mg/kg	-	10,0	prEN ISO 20846 prEN ISO 20884
Residuo de carbón (en 10% de residuo destilado) ^f	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Índice de cetano ^g		51,0		EN ISO 5165
Contenido de cenizas sulfatadas	% (m/m)	-	0,02	ISO 3987
Contenido en agua	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Contaminación total ^h	mg/kg	-	24	EN 12662
Corrosión de la tira de cobre (3h a 50°C)	Clasificación		Clase 1	EN ISO 2160
Estabilidad a la oxidación 110°C	Horas	6,0	-	EN 14112
Índice de ácido	mg KOH/g		0,50	EN 14104
Índice de yodo	g de yodo/100g		120	EN 14111
Éster de metilo de ácido linoléico	% (m/m)		12,0	EN 14103
Esteres de metilo poli-insaturados ⁱ (\geq a 4 dobles enlaces)	% (m/m)		1	
Contenido de metanol	% (m/m)		0,20	EN 14110
Contenido en monoglicéidos	% (m/m)		0,80	EN 14105
Contenido en diglicéidos	% (m/m)		0,20	EN 14105
Contenido en triglicéidos ^j	% (m/m)		0,20	EN 14105
Glicerol libre ^j	% (m/m)		0,02	EN 14105 EN 14106
Glicerol total	% (m/m)		0,25	EN 14105
Metales del grupo I (Na+K) ^k	mg/kg		5,0	EN 14108 EN 14109
Metales del grupo II (Ca+Mg) ^l	mg/kg		5,0	prEN 14538
Contenido de fósforo	mg/kg		10,0	EN 14107

Fuente: ASTM (American Society for Testing and Material Standard)

En cuanto a la utilización del biodiesel como combustible, ha de señalarse que las características del biodiesel son más parecidas a las del diesel que a las del aceite vegetal sin modificar.

La viscosidad del biodiesel es dos veces superior a la del diesel frente a diez veces ó más de la del aceite crudo; además el índice de cetano de los ésteres es superior, siendo los valores adecuados para su uso como combustible. Además, debe cumplir los requisitos para los combustibles minerales de automoción, que se encuentran recogidas en la norma ASTM 6751 referente acerca del biodiesel.

TABLA III.2 NORMA ASTM 6751: Especificaciones B100 o como aditivo del diesel.

Requisito	Unidad	Límites		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Contenido de éster	g/100g	96,5		PrEN 14103
Densidad a 15 °C	g/ml	875	900	ISO 3675 ISO 12185
Viscosidad a 40 °C	mm ² /s	3,5	5,0	IRAM-IAP A 6597 ISO 3104 ASTM D 445
Punto de inflamación	°C	100		ISO/CD 3679 ASTM D 93
Contenido de azufre	mg/kg		10	ASTM D 2622 ASTM D 5453
Residuo carbonoso (sobre 10% de residuo de destilado, obtenido según ASTM D 1160) o al 100 %	g/100g		0,05	ASTM D 4530 ISO 10370
Número de cetano		47,0		ASTM D 613 ISO 5165
Cenizas sulfatadas	g/100g		0,02	ISO 3987
Contenido de agua por Karl Fischer	g/100g		0,05	ASTM D 4928 ISO 12937
Impurezas insolubles	mg/kg		24	EN 12662
Corrosión a la lámina de cobre (3 h a 50 °C)			1	IRAM-IAP A 6533 ASTM D 130 ISO 2160

TABLA III.3 NORMA ASTM 6751: Especificaciones B100 o como aditivo del diesel

Requisito	Unidad	Límites		Método de ensayo
		Mínimo	Máximo	
Estabilidad a la oxidación, a 110 °C	horas	6		PrEN 14112
Índice de acidez	mg KOH/g		0,5	IRAM 6558 Pr EN 14104 ASTM D 664
Índice de yodo			150	Pr EN 14111
Ácidos metálicos de ácido linoléico	g/100g		12	Pr EN 14103
Contenido de metanol libre	g/100g		0,2	Pr EN 14110
Contenido de monoglicérido	g/100g		0,8	Pr EN 14105
Contenido de diglicérido	g/100g		0,2	Pr EN 14105
Contenido de triglicérido	g/100g		0,2	Pr EN 14105
Glicerina libre	g/100g		0,02	Pr EN 14105 Pr EN 14106 ASTM D 6584
Contenido total de glicerina	g/100g		0,25	Pr EN 14105 ASTM D 6584
Metales alcalinos (Na + K)	mg/kg		5	Pr EN 14108 Pr EN 14109
Contenido de fósforo	mg/kg		10	Pr EN 14107
Lubricidad	µm		250	ISO 12156-1

Existen diferencias entre los aceites vegetales, el biodiesel y el diesel que se deben a sus características físicas y químicas. Los más relevantes, que caracterizan los diferentes combustibles e influyen en su uso potencial son la densidad, la viscosidad, los puntos de combustión y solidificación. Como características químicas se debe mencionar el contenido de fósforo y azufre, se pueden apreciar en la Tabla III.4

TABLA III.4 Varias características del aceite vegetal, diesel y biodiesel.

CARACTERÍSTICAS	ACEITES VEGETALES	BIODIESEL	DIESEL	UNIDAD
FÍSICAS:				
Densidad	0.9 – 0.92	0.88	0.85	(Kg./l; 20 °C)
Viscosidad Cinemática	60 - 80	7 - 8	4.7	(mm ² /s; 20°C)
Punto de combustión	> 220	135	60	(°C)
Punto de solidificación	-8 bis -18	-12	-12	(°C)
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS				
Contenido de fósforo	<15	<15		(mg./Kg)
Contenido de azufre	<10	<100	>100	(mg./Kg)
Comportamiento químico	Reacción lenta y natural	Reacción rápida, solvente e higroscópica.	Explosiva.	

FUENTE: Shrimpff, adaptación DED Ecuador

La tabla evidencia que los aceites vegetales tienen una densidad y viscosidad cinemática más alta, problema principal para su uso como combustible.

Destaca además, el bajo contenido de azufre de los biocombustibles favorable para el medio ambiente.

El aceite vegetal es considerado no contaminante para el agua con una biodegradación de 95% en 21 días, en cambio el biodiesel es considerado levemente contaminante para el agua y actúa como solvente lo que puede afectar mangueras y empaquetaduras comunes. Se resalta también, que el aceite es el combustible más amigable con el medio ambiente, con un balance energético más positivo que el biodiesel, y prácticamente libre de azufre. Los avances en la utilización de aceite vegetal como combustible se han presentado en su gran mayoría en Alemania y por lo tanto, se refieren al aceite de colza como el aceite de mayor producción y uso en este país.

En este país fue desarrollada la primera norma para aceites vegetales como combustibles a nivel mundial, la cual se refiere específicamente al aceite de colza y describe características necesarias para que éste pueda ser utilizado como sustituto de diesel fósil ver Tabla III.5. La densidad, punto de encendido, viscosidad, el valor calorífico, el número de cetano, residuo de coque, número de yodo y contenido de azufre son características específicas de cada aceite vegetales El punto de encendido de más de 220° indica, que el aceite vegetal no es fácilmente inflamable, lo que significa que no se requiere de medidas de seguridad para su transporte y almacenamiento.

La viscosidad distingue el aceite vegetal claramente del diesel fósil y es el motivo principal por el cual no puede ser utilizado en motores sin adaptación previa. El residuo de coque es importante, porque valores de más de 0,4 indican que aumenta la probabilidad de formación de residuos durante la combustión, los cuales causan problemas para el motor. El número de yodo indica la estabilidad del aceite durante el tiempo de almacenamiento, el contenido de azufre es un valor referencial, ya que el aceite natural es prácticamente libre de azufre.

Los valores restantes como por ejemplo: la suciedad y el contenido de fósforo, magnesio, calcio son variables que dependen del procesamiento del aceite. El fósforo, magnesio, calcio se encuentran en la cáscara de la semilla y traspasan al aceite en caso de un prensado no adecuado (especialmente el fósforo forma residuos durante la combustión los cuales afectan seriamente el funcionamiento del motor). El contenido de agua depende de la humedad de la semilla, pero también puede aumentar debido a un almacenamiento no adecuado del aceite.

TABLA III.5 Norma Alemana DIN 51605

PROPIEDADES	UNIDADES	VALORES		MÉTODO DE PRUEBA
		MAXIMOS	MINIMOS	
Chequeo visual	-	Libre de suciedad y sedimentos así como libre de agua.		
Densidad con 15°C	Kg/m ³	900 D	930 D	DIN EN ISO 3575 o DIN EN ISO 1218
Punto de encendido según Pensky – Marlens	°C	220		DIN EN ISO 2789
Viscosidad cinemática a 40°C	Mm ² /s		36	DIN EN ISO 3104
Valor calorífico	KJ/kg	36000		DIN 51909 -1,-2,-3
Número de cetano	-	30		
Contenido de azufre	Mg/kg		10	DIN EN ISO 20884 o DIN EN ISO 20846
Suciedad total	Mg/kg		24	DIN EN 12852
Número de acidez	MgKOH/g		2	DIN EN 14104
Estabilidad de oxidación	H	50		DIN EN 14112
Contenido de fósforo	Mg/kg		12	DIN EN 14107
Contenido total de magnesio y calcio	Mg/kg		20	E DIN EN 14538
Contenido de ceniza	%		0.01	DIN EN ISO 8245

Para verificar si este biodiesel cumple con los requerimientos antes mencionados, se realizó pruebas de laboratorio:

Comparando con la Norma ASTM 6751; la densidad del biodiesel es 780 g/ml, por tanto es aceptable ya que está dentro del rango. Así mismo al relacionarla con la del diesel de la Tabla II.4, está cerca del valor normal que es 0.85 kg/Lt. y podría aplicarse en M.C. I

Con respecto a su característica ácida, para un biocombustible indica que: presencia de ácidos grasos libres; esto es fallas en proceso de producción o degradación oxidativa del biodiesel, presencia de ácidos inorgánicos.

TABLA III.6 Resultados de las pruebas de laboratorio con biodiesel.

	BIODIESEL DE HIGUERILLA
Punto de ebullición:	84 °C
Acidez y alcalinidad:	Ph: 9 con características alcalinas.
Densidad:	0.78 g/cc
Elementos esenciales constituyentes:	Carbono, hidrógeno, oxígeno, fósforo y azufre.

Ver Anexo “C” (Pruebas de laboratorio Colegio Hermano Miguel)

El valor ácido puede causar corrosión en diversas partes del motor y aumento de la velocidad de degradación del biodiesel. Con respecto a la alcalinidad, se entiende que hay restos de catalizador en el biodiesel, a su vez causa formación de depósitos de carbonilla.

3.5 VENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL

- Es el único combustible alternativo que funciona en cualquier motor diesel convencional, sin ser necesaria ninguna modificación.
- Puede usarse puro o mezclarse en cualquier proporción con el gasoil.
- En el balance final no hay aumento de emisiones de dióxido de carbono, ya que las reducidas emisiones en comparación con el gasoil, se compensan con la absorción de CO₂ por parte de los cultivos oleaginosos.

- Contiene 11% de oxígeno en peso y no tiene azufre. El biodiesel puede extender la vida útil de los motores porque posee mejores cualidades lubricantes que el combustible tradicional.
- Es seguro de manipular y transportar (tiene un punto de inflamación de aproximadamente 150°C, mientras que el gasoil alcanza los 50°C).

Puede producirse a partir de cultivos que abundan en nuestro país, como lo es la higuera.

3.6 DESVENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL

- Reducción de las prestaciones del motor, entre el 3% y el 5% promedio en la potencia máxima.
- Incompatibilidad de algunos componentes de caucho y elastómeros (retenes, mangueras) del motor.
- Tendencia a aflojar cierto tipo de pinturas.
- Dilución del aceite del cárter por presencia de combustible, debiendo acortarse los períodos de cambio de aceite.
- Formación de mayores depósitos carbonosos en válvulas de admisión.
- Su producción causa potenciación de los monocultivos intensivos, con el consiguiente uso de pesticidas y herbicidas y la posible pérdida de biodiversidad.
- Causan mayores emisiones de óxidos de nitrógeno.

3.7 ALMACENAMIENTO DEL BIODIESEL

“El biodiesel no necesita precauciones especiales más allá de las habituales de manipulación al tratarse de un producto inflamable. Guardar en un lugar seco, limpio y sin excesos de saltos térmicos. El depósito puede ser de acero polietileno o polipropileno fluorado. Se desaconsejan los depósitos de cemento debido a la acción disgregante del biodiesel. Manténganse el depósito de almacenamiento y el del

automóvil lo más lleno posible para evitarla formación del condensado”.²³ Considerar frecuentemente el contenido de agua y el desarrollo de bacterias en el biodiesel, este se **almacena a temperaturas de por lo menos 6°C arriba de su punto de nublado. Generalmente, las temperaturas de almacenaje es de 10 a 13°C que son aceptables para la mayoría de combustibles, sin embargo, algunos tipos de combustibles pueden requerir mayores temperaturas.**

3.8 OBTENCIÓN DEL ACEITE UTILIZANDO EL MOLINO CONVENCIONAL

La obtención del aceite se lo realizó con la ayuda, del molino convencional de la ESPE Extensión Latacunga, fabricado para este fin. El molino consta de un tornillo sin fin, las semillas se las ha prensado al frío.



FIGURA 3.9. Obtención de aceite.

El aceite obtenido en la molienda no se utilizó para realizar el respectivo “Protocolo de Pruebas”, debido a que no es un aceite de grado industrial. Para llegar a aquel grado, es necesario someterlo a un extenso y a la vez costoso proceso químico; el aceite que se utilizó tiene como base, diferentes variedades de la higuierilla.

²³BIODIESEL. Tractores 100% fiables y ecológicos. SAME DEUTZ - FARH. Disponible en www.BioDieselSpain.com.

CAPÍTULO IV

4. INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5 – 10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL.

4.1 ANTECEDENTES

La Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga al ser una institución líder en el Sistema Nacional de Educación Superior, forma profesionales e investigadores de excelencia, creativos, humanistas, con capacidad de liderazgo, pensamiento crítico y alta conciencia ciudadana, contempla en su ideología que los estudiantes elaboren proyectos investigativos en los cuales se pongan de manifiesto los conocimientos adquiridos además del complemento ideal de los laboratorios y el recurso humano calificado con el que cuenta.

El Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica a través de la Carrera de Ingeniería Automotriz contempla como objetivo el desarrollo de nuevos planes investigativos que tengan como finalidad el ser aporte para la mejora de la colectividad, el propósito de mi tema de proyecto de tesis; está orientado a utilizar nuevas tendencias vegetales como una opción para cubrir necesidades básicas en el automóvil; complementando su funcionamiento y optimizando su rendimiento al mismo tiempo que son recursos naturales renovables, aun no explotados en su totalidad. El factor medio ambiente es muy importante y la utilización de materias primas vegetales reduce la emisión de gases contaminantes; un ejemplo claro es el de los biocombustibles. En particular su uso en vehículos ha crecido, tanto por el aumento del parque automotor como por el hecho de que los combustibles fósiles presentan un subsidio en el país.

Nuestro país debe convertirse en un ente investigativo, que genere su propia tecnología, no conformarse con ser quie doptamos y seguimos lineamientos de

otras regiones, de esta forma podemos demostrar la capacidad que poseemos al dar solución a los problemas que se generan dentro del campo de la Mecánica.

4.2 JUSTIFICACIÓN

La preocupación general por el carácter no renovable de los combustibles fósiles y la alta participación del sector transporte en el consumo total de energía primaria y en la contaminación atmosférica urbana; se han convertido en las fuerzas que están impulsando esta investigación sobre opciones vegetales aplicables en la industria automotriz; dado a que actualmente se está dando mucha importancia a este tipo de recursos y no sólo en la industria automotriz, contando con vastas aplicaciones.

El aceite de ricino gracias a su componente principal el ácido ricinoléico, constituye una buena alternativa para sustituir al diesel, al líquido de frenos tradicional; actuando también como lubricante, gracias a su naturaleza química siendo el único aceite que tiene un grupo OH en su estructura, siendo además uno de los cultivos más tradicionales de uso industrial, más no alimentario. Esto reduce prácticamente el impacto al sector alimenticio, contrario con lo que sucede con el maíz y soja siendo uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial.

El crear un aceite que sustituya a aquellos derivados de petróleo que se usan normalmente, busca reducir las emisiones contaminantes del vehículo, factor que desde siempre ha estado afectando nuestro medio ambiente; una evidencia de esto es la reducción de la capa atmosférica. Esto sin desmerecer a quien conducirá el auto, que en este caso brinda soluciones extras para el funcionamiento óptimo del vehículo.

En parte estas metas no se llegan a cumplir por diferentes motivos, un ejemplo visible en nuestro país es el bajo apoyo por parte de empresas grandes y lucrativas a una nueva alternativa de combustibles, que quizá en este momento no tenga mucho auge, debido a la explotación indiscriminada del único recurso fósil; que lamentablemente se está acabando; sólo esta triste realidad hará posible generar nuevas propuestas a partir de materias primas vegetales no comerciales.

La investigación constante en nuestro campo hacen que se encuentren soluciones que ayudan a resolver problemas mencionados anteriormente, logrando día a día dar al consumidor soluciones que ayudan en cierto porcentaje al motor del vehículo a cumplir con sus características de óptimo funcionamiento y rendimiento.

4.3 OBJETIVO GENERAL

- Investigar la utilización del aceite de higuera, como combustible alternativo al 5 -10% en motores diesel con bomba de alta presión convencional que permita determinar su influencia en el desempeño de los parámetros característicos del mismo.

4.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener aceite de higuera mediante método convencional.
- Estudiar el comportamiento de los parámetros característicos del MCI diesel con la combinación diesel higuera.
- Determinar los factores importantes del biodiesel como densidad, viscosidad, poder calorífico, punto de inflamación, número de cetano y compararlo con el diesel fósil.
- Comprobar el rendimiento del vehículo con aceite de higuera como biodiesel al 5-10%.
- Determinar las emisiones producidas por el biodiesel utilizado.

4.5 METAS DE LA INVESTIGACIÓN

- Realizar el proyecto en el tiempo estipulado por el reglamento de la ESPE.
- Obtener el aceite de higuera, para aplicarlo en vehículos diesel al 5 y 10 %.
- Desarrollar un análisis cuantitativo del comportamiento del motor a diesel en relación a sus parámetros característicos de operación.
- Difundir los resultados de la investigación realizada.

4.6 CONSIDERACIONES PARA EL PROTOCOLO DE PRUEBAS.

A continuación se describe el resumen de operaciones del cual constará el protocolo de pruebas de la investigación del uso de la higerilla al 5 – 10 % combinado con diesel en la camioneta D-Max, del laboratorio de motores del Departamento de Energía y Mecánica.

Tabla IV.1 Consideraciones protocolo de pruebas

1.	Desarrollar el test LUG DOWN. El motor a temperatura de operación de 30°C, así como a una velocidad de 79.4 km/h.
2.	Medir potencia, torque, consumo de combustible, emisiones con diesel comercial por el estimado de 5 km, a una temperatura de operación así como a una velocidad de 51.65 km/h.
3.	Registrar valores y curvas.
4.	Medir potencia, torque, consumo de combustible, emisiones con la mezcla diesel/aceite al 5% por el estimado de 5 km, a temperatura de operación de 29°C, así como a una velocidad de 78.21 km/h.
5.	Registrar valores y curvas.
6.	Medir potencia, torque, consumo de combustible, emisiones con la mezcla diesel/aceite al 10% por el estimado de 5 km, a temperatura de operación de 27.5 °C así como a una velocidad de 110.72 km/h.
7.	Registrar valores y curvas.
8.	Análisis de resultados.

4.7 DESARROLLO DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

La primera prueba se realizó a los 5 km de recorrido del vehículo y a diferentes RPM con diesel puro, se utilizó en una camioneta CHEVROLET LUV DMAX 2.5 TD del Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la ESPE Extensión Latacunga.

TABLA IV. 2 Especificaciones técnicas del motor de ensayo.

INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO	
AÑO:	2009
FABRICANTE:	Chevrolet
MODELO:	LUV D-MAX TD

PLACA:	FTF-973
INFORMACIÓN DEL MOTOR	
AÑO DE FABRICACIÓN DEL MOTOR:	2008
RELACIÓN DE COMPRESIÓN:	18.5 : 1
NÚMERO DE CILINDROS:	4 En línea.
DIÁMETRO POR CARRERA.	93X92 mm
DESPLAZAMIENTO:	2500 CC
ALIMENTACIÓN:	Bomba de Inyección directa De alta presión.
POTENCIA (HP@RPM):	79 @3900.
TORQUE NETO (N.m@RPM):	176@2000. 103lbf.ft@2000

Ver Anexo “F” (Datos Técnicos LUV DMAX 2.5 TD)

Para realizar las pruebas se dispuso del equipo de CORPAIRE:

- Dinamómetro de chasis MAHA, modelo LPS 3000, que cumple con la NTE INEN 2 207:2002, es el aparato utilizado para medir la potencia generada por un vehículo automotor o motor solo, a través de aplicaciones de velocidad y torque.
- Medidor de emisiones On Board marca Clean Air, modelo Montana OEM 2100.
- Opacímetro MAHA, modelo MDO 2 LON.

Se realizó la prueba para obtener la potencia y el torque máximo del vehículo, a través del LUG DOWN TEST; esta prueba es propia de CORPAIRE y se utiliza para determinar parámetros de cualquier vehículo en condición estática.



FIGURA 4.1. Ventilador MAHA utilizado en la pruebas.



FIGURA 4.2. Medidor de gases a bordo cleanAIR.

TABLA IV.3 Resultados de la medición de la potencia nominal del vehículo.

POTENCIA MÁXIMA DEL MOTOR:	70.3HP *
RPM A LA POTENCIA MÁXIMA DEL MOTOR:	3045
TORQUE MÁXIMO DEL MOTOR:	135.1 Nm

RPM AL TORQUE MÁXIMO:	1985
-----------------------	------

* Estos valores comparados con los del fabricante, indican que los datos están en ese rango, por lo tanto es válida para nuestras futuras interpretaciones.

Como parte del LUG DOWN TEST, está determinar los valores de las emisiones contaminantes y opacidad. Ambos valores se obtuvieron al realizar la prueba de opacidad; la medición de las emisiones se realizó durante el período de aceleración el motor. Para la misma se recurrió al método que consiste en cuantificar la capacidad de emisiones de escape para interferir la transmisión de la luz, expresada en unidades de metros a la menos uno (m^{-1}); mediante una fuente luminosa y un sensor fotoeléctrico.

Al 100, 90 y 80% de la potencia máxima se registraron diferentes valores del factor (k), que es el coeficiente de absorción de una columna diferencial de gas en escape a la presión atmosférica y a una temperatura de 70°C, que mediante la ecuación 5, permitirá conocer el valor de la opacidad en porcentaje.

$$k = -\frac{1}{L} \ln \left[1 - \frac{N}{100} \right] \quad \text{Ecuación. 5}$$

Los datos, se obtuvieron a través de una prueba estática en libre aceleración; la misma que se efectuó con la transmisión del vehículo en neutro, las ruedas acuñadas o frenadas para evitar cualquier desplazamiento del vehículo, y el motor funcionando a régimen normal de temperatura (aproximadamente 80 °C) y sin acelerar.

A partir de dicha condición, se presionó rápidamente el acelerador desde el ralentí a la posición de máxima potencia, manteniendo el pedal del acelerador en esa posición por no más de 10 segundos o hasta que el motor alcance su máxima velocidad, para después liberar el pedal de tal modo que el motor se desacelere hasta llegar al ralentí; esta operación se hará dos veces, para liberar de residuos el tubo de escape.

Con respecto al análisis de resultados, el equipo registró cada valor de absorción medido, descartar las primeras 2 mediciones ya que arrojan un resultado falso, las siguientes 3 mediciones fueron almacenadas en un formato de control sistematizado, de tal manera que luego podían descargarse, para su posterior análisis.

Es así que se registran datos de la variación de las emisiones contaminantes como NO_x, HC, CO y CO₂



FIGURA 4.3. Opacímetro y medidor de gases utilizado en las pruebas



FIGURA 4.4. Datos obtenidos en la primera medición.

El proceso continúa con la medición de la curva de potencia y torque; para esto el vehículo se colocó en el dinamómetro, la palanca de cambios se la ubicó en 4^{ta} marcha ya que aquí, la relación de transmisión es 1 : 1; es decir la potencia de salida del motor, en teoría, es igual a la de las ruedas. Para una mayor credibilidad se cuenta con la certificación de CORPAIRE. Ver Anexo “G”. (Certificado otorgado por CORPAIRE).



FIGURA 4.5. Vehículo en el dinamómetro de prueba.

Se obtuvo la curva, al inicio se forma el pico tradicional de la curva de potencia, pero transcurrido apenas 2 segundos se formaba otro pico, notando que no sostenía la potencia. Por este inconveniente, se repitió la prueba pero esta vez la palanca de cambios se ubicó en 3^{ra} marcha, se observó una curva que crecía uniformemente mientras variaban las RPM. Esto explica que en este caso el vehículo estaba dando su máxima potencia en esta marcha.

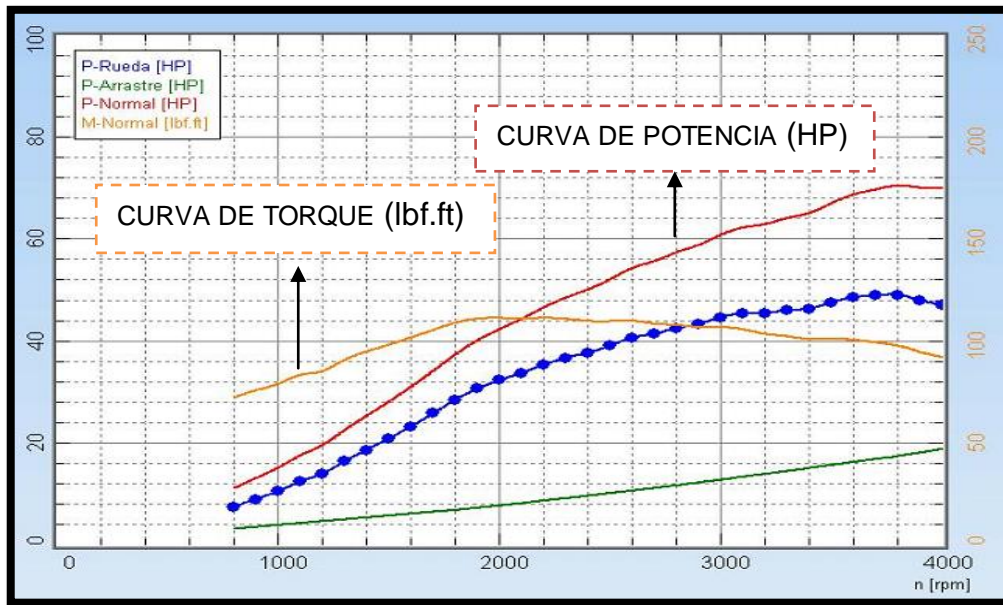


FIGURA 4.6. Curva obtenida en 3ra marcha.

La potencia obtenida es de 70.2 HP , aceptable porque está dentro del rango permisible, así como el torque que realiza por el motor que es de $135.1 \text{ lbf.ft} = 183 \text{ N.m}$.

La medición del consumo de combustible se hizo utilizando un recipiente graduado con una escala lineal.



FIGURA 4.7. Recipiente graduado.

4.7.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA PRUEBA DE CONSUMO

- Hacer un agujero en el recipiente (Ver figura 4.7) e introducir la manguera de presión con un acople.
- Esta manguera va a la entrada del filtro de combustible.
- Conectar otra manguera a la tubería de retorno, y su extremo al recipiente graduado.

La función del tanque de combustible la hizo el recipiente, ya que de esta manera se observó la variación de volumen del combustible.

Las modificaciones realizadas se las puede determinar de mejor manera en la figura 4.8

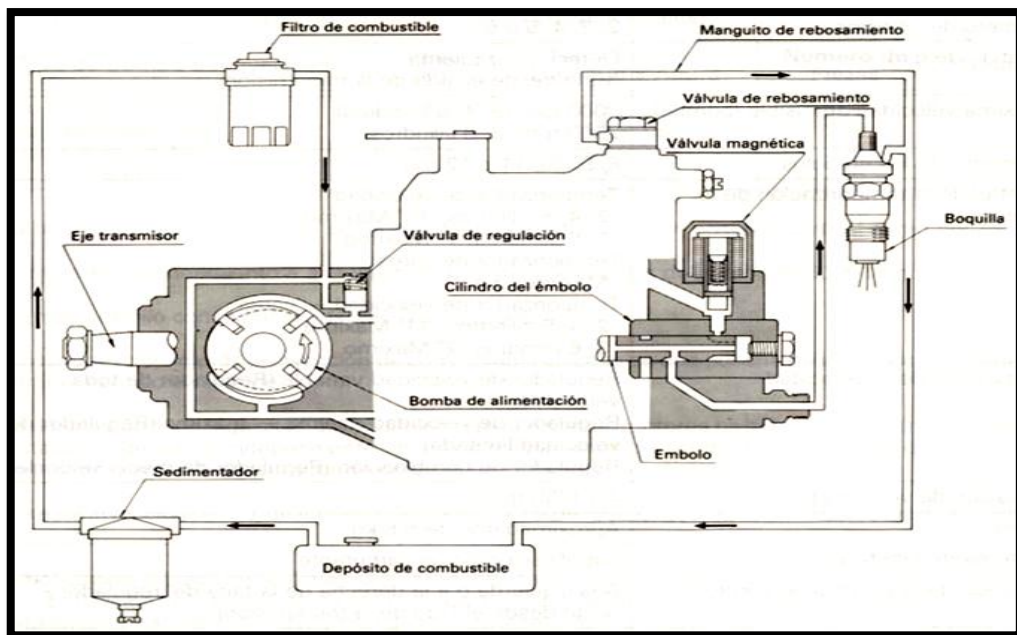


FIGURA 4.8. Sistema de Combustible del vehículo LUV-DMAX 2.5 TD.

Ver Anexo “H” (Especificaciones de la bomba de inyección)

Se consideró un volumen inicial de $3 \text{ lt} \cong 9.3 \text{ cm lineales}$, con respecto al recipiente graduado. Al encender el vehículo empieza a consumir el combustible, por ende disminuirá cierta cantidad, en un determinado tiempo; es por eso que las mediciones se realizaron a diferentes velocidades del motor, para establecer una gráfica correspondiente, que se analizará posteriormente.

Con respecto a la eficiencia térmica, estamos hablando del porcentaje de calor generado por la combustión, para ser transformado en fuerza motriz. Para obtener un valor representativo, se utilizó cálculos termodinámicos, considerando que este parámetro está en función del poder calorífico del combustible; que es la cantidad de calor proporcionada por los productos de su combustión al enfriarse hasta la temperatura inicial, después de una combustión completa a presión constante o a volumen constante.

4.8 SEGUNDA PRUEBA A LOS 5 KM CON UNA MEZCLA DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 5%

La segunda prueba se realizará a los 5 Km, con una mezcla de diesel más aceite de higuera al 5%.

Previo a realizar la prueba, se realizó la mezcla física con las siguientes cantidades:

TABLA IV. 4 Proporciones del diesel y aceite usados en la mezcla al 5%

CANTIDAD TOTAL	DIESEL	ACEITE
1 galón = 3785.4 ml	3700 ml	185 ml

4.8.1 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA MEZCLA AL 5%

- Medir 3 litros de diesel y colocar en el galón.



FIGURA 4.9. Medición del diesel.



FIGURA 4.10. Galón referencial para la preparación de la mezcla.

- Medir 185 ml de aceite y agregar al diesel



FIGURA 4.11. Medición del aceite.

- Medir 700 ml de diesel y añadir a la mezcla anterior.

Se intercala al agregar diesel y aceite para que la mezcla sea homogénea. Así mismo se agitó la mezcla antes de colocarla en el tanque de combustible.

A través del LUG DOWN TEST, se obtuvieron las curvas de potencia y torque; así como se realizó mediciones sobre las emisiones contaminantes y opacidad.

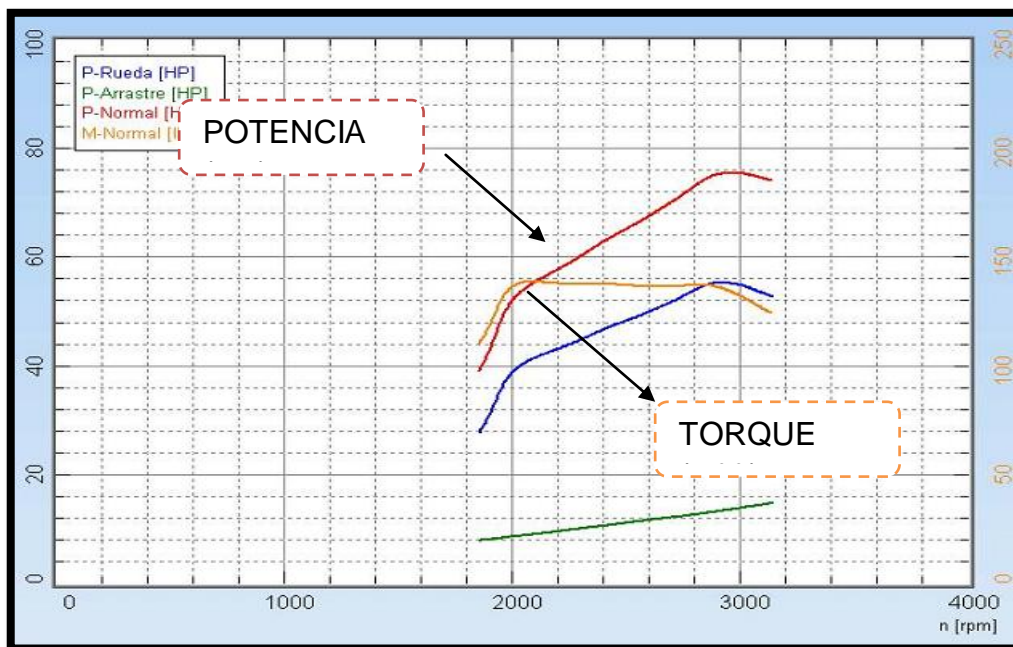


FIGURA 4.12. Curva obtenida en mezcla con aceite al 5%

La potencia de la figura 4.12, es de 75.2 HP con respecto a figura 4.6, hay un incremento de 5 HP ; de igual manera el torque ha sufrido un incremento de 25.7 lbf.ft

Con respecto al consumo, se utilizó el mismo recipiente graduado. El procedimiento es similar.

Se consideró un volumen inicial de:

2 lt de aceite y 100 ml de aceite de higuierilla

Se empezó la prueba con aproximadamente: 6.7 cm lineales como referencia del recipiente.

Se encendió el vehículo, al aplicar carga, disminuirá la mezcla en el recipiente graduado en un determinado intervalo de tiempo, esa reducción de volumen será el consumo; el mismo que con la ayuda de cálculos para motores de combustión interna, permitirán determinar el consumo específico de combustible y posteriormente su curva; parámetros a ser analizados.

Lo que se refiere a la eficiencia térmica será calculado a través de ecuaciones termodinámicas.

4.9 TERCERA PRUEBA A LOS 5 KM EN MEZCLA DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 10%.

Esta tercera prueba se realizó a los 5 km, con una mezcla de aceite más diesel al 10%. Previo a desarrollar la prueba, se hace la mezcla física con las siguientes cantidades:

TABLA IV.5 Proporciones de diesel y aceite usados en la mezcla al 10%

CANTIDAD TOTAL	DIESEL	ACEITE
1 galón = 3785.4 ml	3500 ml	350 ml

Con el LUG DOWN TEST se obtuvo la curva de potencia y torque.



FIGURA 4.13 Curva obtenida en mezcla con aceite al 10%.

Con respecto a la figura 4.12, se puede observar que la potencia ha incrementado 2.3 HP, caso contrario del torque, ya que sufrió una reducción en su valor de 45.2 lb.ft.

Par la medición del consumo, se utilizó el mismo recipiente graduado. El procedimiento es similar.

Aquí se consideró un volumen inicial de:

2 lt de aceite y 250 ml de aceite de higuera

Se empezó la prueba con: 6.7 cm lineales, referente al recipiente graduado.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PROTOCOLO DE PRUEBAS.

5.1 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON DIESEL PURO.

5.1.1 POTENCIA Y TORQUE

A continuación se muestran las curvas con los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el motor de prueba con diesel y aceite de higuera al 5 -10%.

Los valores obtenidos de las pruebas son:

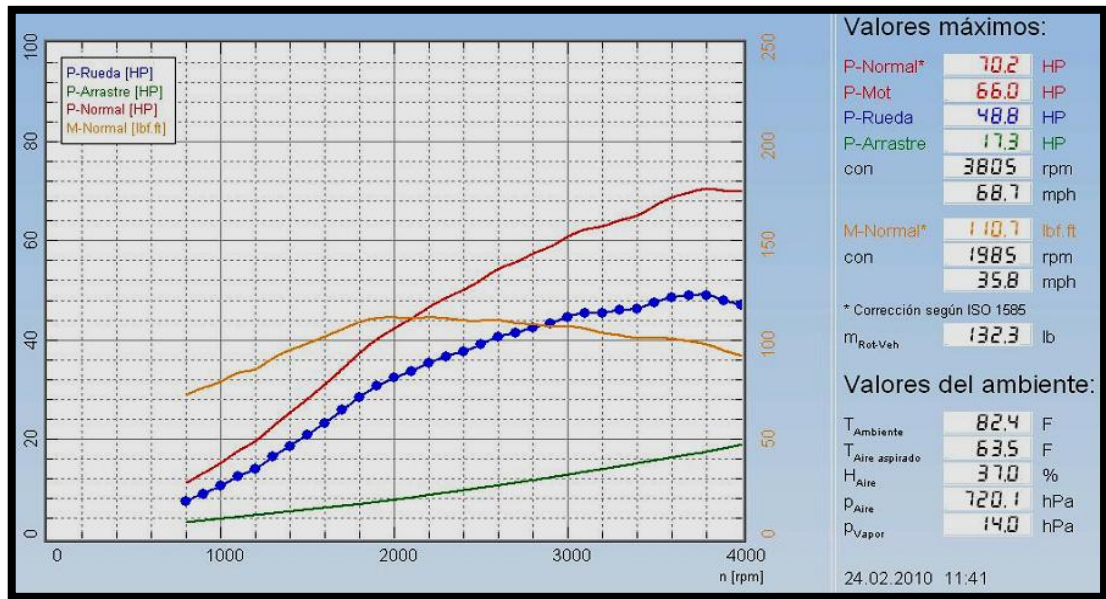


FIGURA 5.1 Curvas de potencia y torque con diesel.

En la figura 5.1, se puede observar una potencia máxima de $70.2 \text{ HP}@3805 \text{ RPM}$, de la dada por el fabricante, difiere en 10 HP se toma normal dicha variación ya que el valor nominal es obtenido en pruebas estáticas sin la influencia de factores como la presión y temperatura atmosférica, así como su consideración de que el turbo no funcionó al realizar la prueba, restando al vehículo.

Se aprecia además que el torque, el mismo que registró un valor de $110.7 \text{ lbf.ft}@1985 \text{ RPM}$, si comparamos ambos valores el vehículo tiene la suficiente fuerza y velocidad para circular en cuestas, que es la mejor manera de observar el comportamiento del mismo.

Determina la potencia motor (real) con un valor de 63.8 HP , es la potencia que tiene el vehículo en ese momento, la normal es la potencia que tiene el auto una vez que se le han aplicado los parámetros estándar de presión y temperatura (25°C y 955 mbar). En esta caso la potencia motor es menor que la nominal.

Además la potencia de rueda, es la potencia que transmite el suelo al vehículo una vez descontadas las pérdidas por transmisión y la de arrastre es la que se gasta en mover los rodillos del dinamómetro.

TABLA V.1 Resumen de datos con diesel convencional.

Potencia Normal	70.2 HP@3805 RPM
Potencia Motor	66 HP@3805 RPM
Potencia Rueda	48.8 HP@3805 RPM
Potencia Arrastre	173 HP@3805 RPM
Torque Normal	110.7 @1985 RPM

5.1.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE

A través de las mediciones se obtuvo (K).

Con la siguiente fórmula, se conseguirá el consumo específico por hora, el mismo que viene dado por:

$$B = \frac{K * \rho * 3600}{s} \left[\frac{g}{h} \right] \quad \text{Ecuación. 6.}$$

Donde:

K : Cantidad de combustible consumido. [cc]

ρ : Densidad [gr/cc]

s : Duración de la prueba. [s]

TABLA V.2 Valores obtenidos en el consumo de combustible.

RPM	TIEMPO(min)	K(cc)
-----	-------------	-------

Ralentí	5	$2.5 * 10^{-3} cc$
1000	5	$3 * 10^{-3} cc$
2000	5	$6 * 10^{-3} cc$
3000	5	$0.01 cc$
4000	5	$0.016 cc$

De www.wikipedia.com [Especificaciones diesel](#), se tiene que la densidad del diesel es $865.97 g/cc$

Aplicando la Ecuación. 5, tenemos:

$$B_{Ralentí} = \frac{2.5 * 10^{-3} cc * 865.97 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{Ralentí} = 25.97 \frac{g}{h}$$

$$B_{1000} = \frac{3 * 10^{-3} cc * 865.97 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{1000} = 31.17 \frac{g}{h}$$

$$B_{2000} = \frac{6 * 10^{-3} cc * 865.97 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{2000} = 62.34 \frac{g}{h}$$

$$B_{3000} = \frac{0.01 cc * 865.97 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{3000} = 103.91 \frac{g}{h}$$

$$B_{4000} = \frac{0.016 \text{ cc} * 865.97 \frac{g}{cc} * 3600}{300 \text{ s}}$$

$$B_{4000} = 166.26 \frac{g}{h}$$

Ordenando los valores, de tal manera que se puedan graficar, tenemos que:

TABLA V.3 Consumo específico por hora a diferentes revoluciones.

N(RPM)	B(g/h)
900	25.97
1000	31.17
2000	62.34
3000	103.91
4000	166.26

La curva resultante del consumo se puede ver en la siguiente figura:

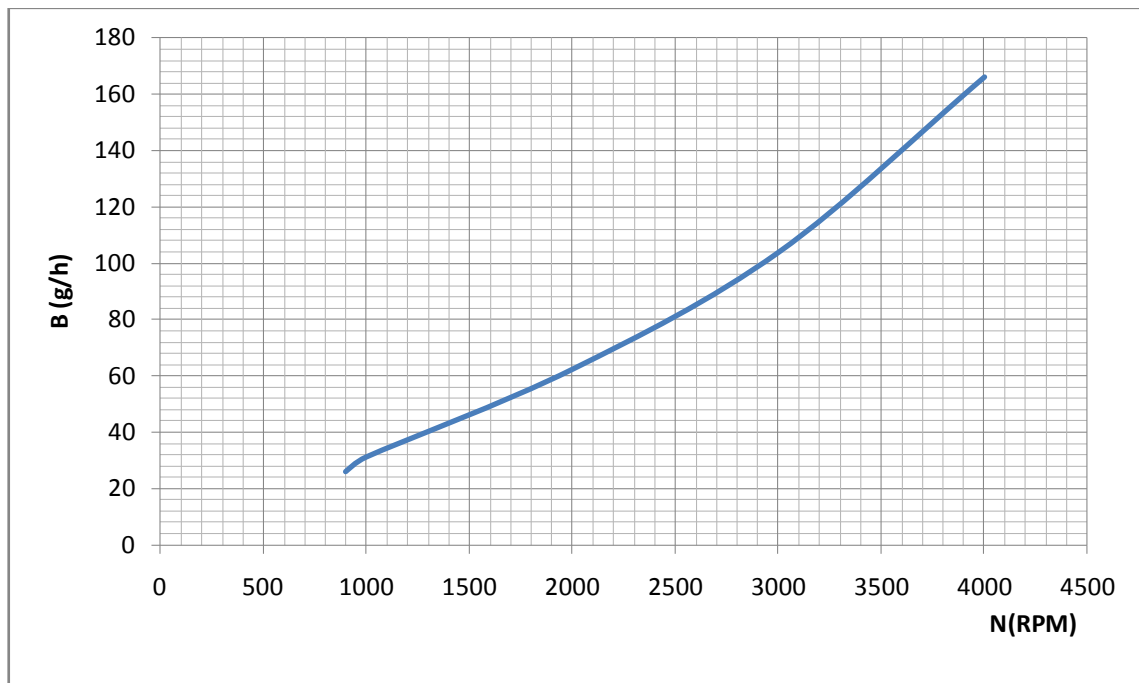


FIGURA 5.2 Consumo específico por hora a diferentes revoluciones

En la figura 5.2, se observó que el consumo específico de combustible tiende a subir a medida que incrementa el grado de carga del motor. En ralentí, sin acelerar se inyecta única y exclusivamente el gasoil necesario para el funcionamiento del motor en ese régimen, por el contrario cuando se pisa a fondo pasa a quemarse la máxima cantidad de combustible que puede llegar a hacerlo para la cantidad de aire que cabe en el cilindro a la presión de trabajo.

Dicha proporción es aproximadamente de un gramo de gasoil por cada 17 a 20 de aire (un litro de gasoil requiere de 15.000 litros de aire para oxidarse completamente, un 30% más que un motor de gasolina). Dicha relación es la que sirve como elemento regulador de la potencia que entrega el motor y se define como λ pudiendo variar de 17 a infinito.

5.1.3 ANÁLISIS DE GASES (HC, CO, NOX, CO2) CON DIESEL PURO

Los ppm (partes por millón) es la unidad de medición de los hidrocarburos HC y los NOx; en esta investigación se presentan datos en forma de concentración y no valores de emisiones por peso (g/s).

En el Ecuador no existe una norma para regular los NOx, mientras que el CO2 no es un gas contaminante, es un gas causante del efecto invernadero, indica la eficiencia del motor. La cantidad de CO2 liberado es directamente proporcional al consumo de combustible. Por ello, las medidas para reducir el consumo de combustible son cada vez más importantes. Por lo que para nuestro análisis se considera la siguiente tabla, que fue proporcionada por CORPAIRE, que es la entidad más estricta en el Ecuador para el control de emisiones contaminantes

TABLA V.4 Composición de los gases de escape Diesel.

COMPONENTE DEL GAS DE ESCAPE	EN RALENTÍ	A POTENCIA MÁXIMA
NOx	50 a 200 ppm	600 a 2500 ppm
HC	50 a 500 ppm	<50 ppm
CO	100 a 450 ppm	350 a 2000 ppm
CO2	a 3.5% en volumen	12 a 16% en volumen
H2O	2 a 4% en volumen	a 11% en volumen
O2	18% en volumen	2 a 11% en volumen
Nitrógeno (N2) y otros	resto	resto
Temperatura de gases de escape tras válvula de salida	100 a 200 °C	550 a 800 °C

Fuente: CORPAIRE

Para un mejor análisis se entiende que:

0.05 ppm en volumen corresponden a 500 partes por millón.

Como se determinó en la figura 5.3, la máxima emisión de HC a plena aceleración es de 13 ppm. Mientras que el valor mínimo es 2 ppm en ralentí.

El límite permisible en ralentí es de 50 – 500 ppm y en máxima aceleración es >50 ppm.

De acuerdo con los valores permitidos, las emisiones de HC están dentro de lo permitido.

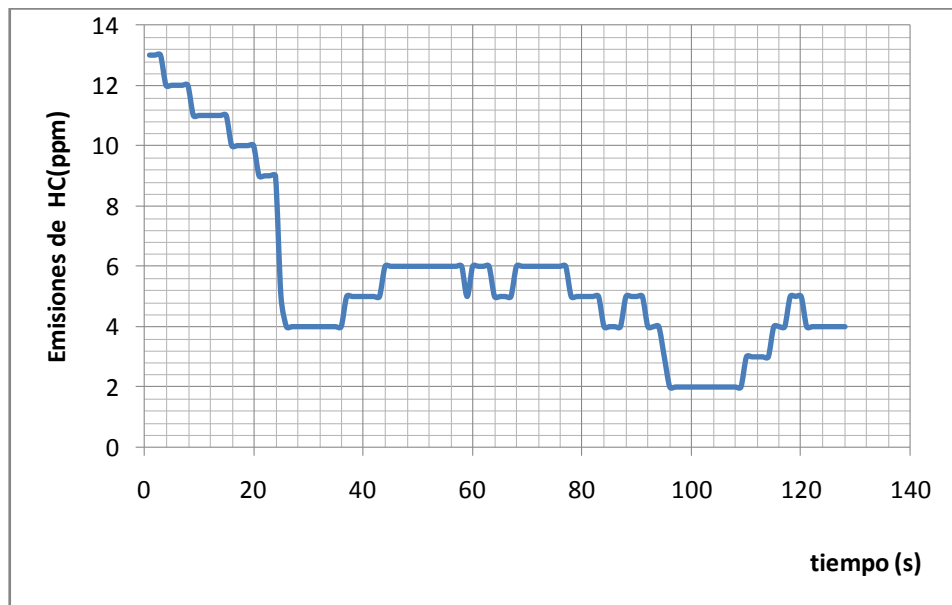


FIGURA 5.3 Emisiones de HC con diesel puro.

En la figura 5.4 la máxima emisión de CO a plena aceleración es 0.038%, este valor expresado en concentración es 380 ppm. Mientras que en ralentí se registra un valor de 0.01% que es igual a 100 ppm.

El límite permitido es de 100 – 450 ppm en ralentí y en aceleración debe estar en este rango 350 – 2000 ppm.

De acuerdo con el análisis de varianza, el grado de carga y el tipo de combustible no hay un comportamiento significativo de las emisiones de monóxido de carbono. No obstante, se observa una ligera disminución para las emisiones de CO con el aumento de aceleración; situación razonable por el incremento del gasto de combustible.

Las variaciones en el porcentaje de CO son pequeñas y analizar con más detalle este parámetro, requiere de dispositivos de mayor precisión, pero de una u otra manera así se ayuda a reducir el efecto invernadero.

Con respecto al tipo de combustible, el porcentaje de CO no tiene variaciones significativas. En general las emisiones de CO no son un problema en la combustión diesel debido a los altos exceso de aire (bajo dosado relativos) que se utilizan.

El dosado relativo se define como la razón entre las tasas máscas de combustible y de aire que se usan durante la combustión de cualquier carburante, sea quemado en condiciones estequiométricas (ideales) o fuera de estas.

El FR es la relación entre el dosado absoluto real (F_a) y el estequiométrico (F_{stq}).

En motores diesel (FR siempre menor a 0.7) es decir la mezcla es ligeramente pobre; se observa que al incrementar el porcentaje de aceite en la mezcla, el FR disminuye. Esto se debe al aporte extra de oxígeno molecular del biodiesel. Así, el aumento en la proporción aceite demanda cada vez menos aire atmosférico para efectuar la combustión.

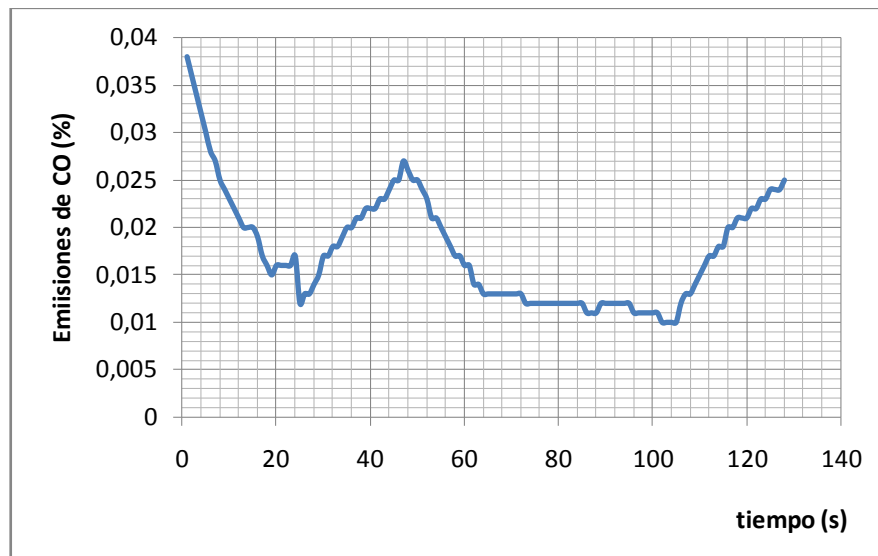


FIGURA 5.4 Emisiones de CO con diesel puro

En la figura 5.5, la emisión máxima de NOx es 1500 ppm a máxima aceleración, mientras que en ralentí se registra una emisión de 200 ppm. Lo normal para un vehículo a diesel está comprendido en el siguiente rango: de 50 – 200 ppm en ralentí y de 600 – 2500 ppm a máxima aceleración. De acuerdo con los rangos permitidos, ambos valores están dentro del rango permitido.

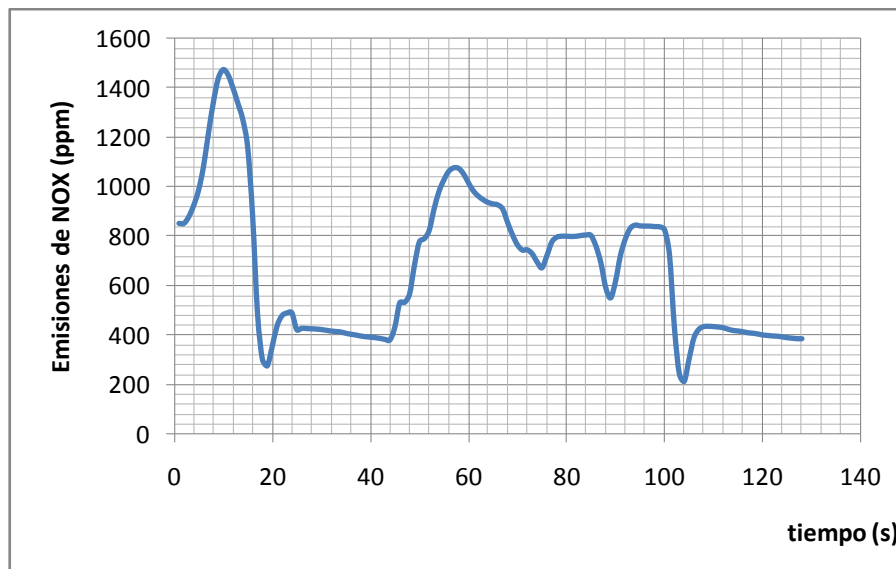


FIGURA 5.5 Emisiones de NOx con diesel puro.

En la figura 5.6, la emisión máxima de CO₂ es 9 %. Mientras que en ralentí el valor mínimo es 0.25 %. Lo admisible es 3.5 % en ralentí y de 12- 16% a máxima potencia. Al comparar los valores obtenidos, se observa que ambos están dentro del rango.

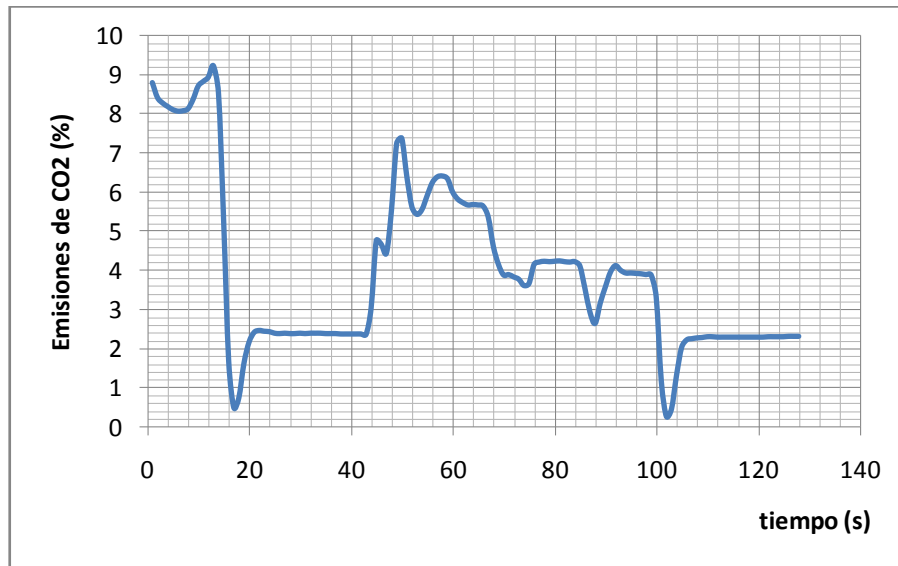


FIGURA 5.6 Emisiones de CO₂ con diesel puro.

En la figura 5.7, las emisiones de NO_x son mayoritarias, siendo el principal contaminante en la combustión diesel; esto sucede cuando la mezcla es pobre es decir λ es un valor excesivamente alto (mezclas pobres), por ello las temperaturas que se alcanzan en la cámara son bajas debido a que con el exceso de aire, el combustible tiene problemas para quemarse y propagar la llama, sucediendo un fenómeno similar para mezclas excesivamente ricas en las que la falta de oxígeno provoca la no proliferación.

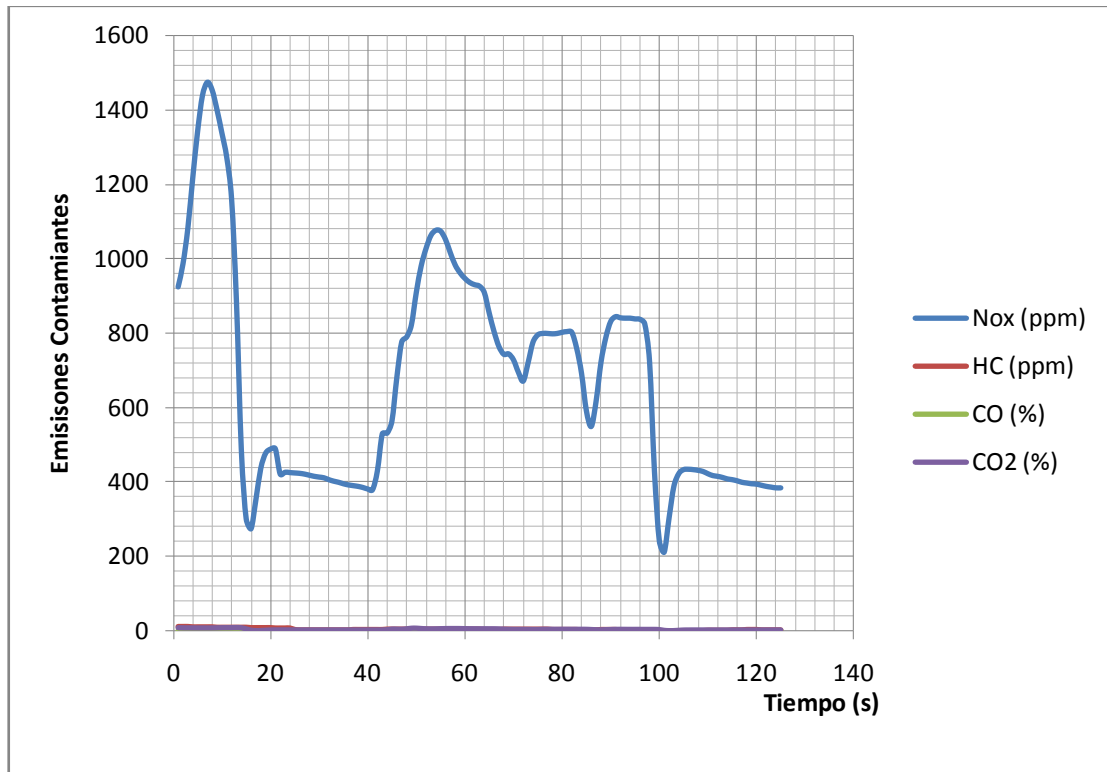


FIGURA 5.7 Emisiones contaminantes con diesel puro.

5.1.4 OPACIDAD

Es la capacidad que tienen las emisiones de gases de oponerse al paso de un haz de luz a una frecuencia determinada.

Los siguientes valores se obtuvieron a partir de una serie de mediciones:

TABLA V.5 Valores obtenidos en la prueba de opacidad con diesel.

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN		ESPECIFICACIÓN DEL FABRICANTE	
Potencia máxima del motor	Número de RPM a la potencia máxima del motor.	Potencia máxima del motor	Número de RPM a la potencia máxima del motor.
48.5 KW = 65.03 HP	3000 RPM	52 KW = 69.73 HP	3045 RPM

--	--	--	--

Ver Anexo "I" (Datos obtenidos en la prueba de Opacidad en CORPAIRE)

La opacidad resultante es el promedio aritmético de los tres valores pico.

TABLA V.6 Análisis del gas de humo a 100% de velocidad máxima

Valor k:	$0.03m^{-1}$. Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	2990 RPM
Velocidad:	$77.3 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	15.1 KW

Referencia: Paola Proaño.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

$$k_{100\%} = 1\% *$$

TABLA V.7 Análisis del gas de humo a 90% de velocidad máxima

Valor k:	$0.02m^{-1}$. Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	2702 RPM

Velocidad:	$69.7 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	4.6 KW

Referencia: Paola Proaño.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

$$k_{90\%} = 1\% *$$

Tabla V.8 Análisis del gas de humo a 80% de velocidad máxima

Valor k:	$0.01m^{-1}$. Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	2401 RPM
Velocidad:	$61.9 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	3.7 KW

Referencia: Paola Proaño.

Aplicando la ecuación 5, se tiene:

$$k_{80\%} = 0\% *$$

(*) Los valores de opacidad son realmente bajos, pero es normal ya que se ha hecho otras pruebas y se han obtenido los mismos resultados.

La prueba dinámica es más objetiva que la estática, ya que en esta última hay muchas variables como son: la temperatura del motor, si el turbo entra en funcionamiento, además cada operador acelera de una manera diferente, etc., en cambio en la LUG DOWN se reducen notablemente las variables y el vehículo opera a plena carga, en la temperatura óptima de trabajo, funcionando el turbo.

Por lo tanto los valores obtenidos están bajo toda normalidad para una prueba dinámica, en estática siempre son más altos.

5.1.5 EFICIENCIA TÉRMICA.

Se puede analizar al motor Diesel con la hipótesis de que el aire es el único medio de trabajo, y que es un gas perfecto; de esta manera no se tiene en cuenta al combustible, excepto como fuente de calor.

Sin embargo para calcular la eficiencia, es necesario tomar en cuenta el poder calorífico del combustible, ya que la energía para producir trabajo proviene de la reacción del combustible y el oxígeno.

Cuando estos combustibles reaccionan con el oxígeno, el hidrógeno forma H₂O. Si los productos de combustión están *calientes* (arriba de unos 52°C), este H₂O es vapor; si los productos son enfriados hasta temperaturas atmosféricas normales, el vapor de agua se condensa, o por lo menos en gran parte, y el H₂O se vuelve líquido. Durante la condensación cede el calor de evaporación. De esta manera, si consideramos únicamente este factor, vemos que puede haber por lo menos dos valores de poder calorífico *en el caso de los combustibles que contienen hidrógeno*; el *poder calorífico superior* (p.c.s) cuando se condensa el H₂O formado del combustible, y el *poder calorífico inferior* (p.c.i), cuando el combustible se quema de modo que el H₂O no se condensa.

TABLA V.9 Poder calorífico del diesel, aceite combustible y de higuera.

	q°_L	q°_H
DIESEL	$18898 \frac{BTU}{lb} = 0.01217 \frac{KW.h}{g}$	$20318 \frac{BTU}{lb} = 0.01309 \frac{KW.h}{g}$
ACEITE COMBUSTIBLE	$18500 \frac{BTU}{lb} = 0.01192 \frac{KW.h}{g}$	$19700 \frac{BTU}{lb} = 0.01269 \frac{KW.h}{g}$

ACEITE DE HIGUERILLA	$9530 \frac{kcal}{kg} = 0.0111 \frac{KW.h}{g}$	
-----------------------------	--	--

Ver Anexo “J” (Poder Calorífico de varios combustibles)

“En los motores reales, los gases de escape están muy calientes y el vapor no se acerca al punto de condensación. Debido a lo anterior, sería injusto cargar al motor el poder calorífico superior; de ahí que lo normal sea hacer uso del *poder calorífico inferior a presión constante* cuando se calcula la eficiencia térmica de motores de combustión interna”.²⁴

La eficiencia térmica en función del poder calorífico, viene dado por:

$$\eta_t = \frac{P_f}{m_c \cdot Q_{neto}} \quad \text{Ecuación. 6}$$

La ecuación 6, fue tomada de la Termodinámica de Faires. (Página 597)

Donde:

P_f : Potencia al freno [KW]

m_c : Consumo específico de combustible [g/h]

Q_{neto} : Poder calorífico del combustible [KJ/kg]

Así mismo:

$$P_f = \frac{2\pi \cdot Tq \cdot N}{60} \quad \text{Ecuación. 7}$$

Donde:

Tq : Es el momento de torsión ejercido por el motor [N.m]

²⁴ FAIRES/SIMMANG .Termodinámica de Faires.(En línea). Consultado el 19 de abril del 2010. (p.363).

N : Velocidad de giro del motor [RPM]

Se tiene como dato el Tq , ver Anexo "K" (Tablas de Excel con los valores de torque y potencia con diesel); los parámetros obtenidos al realizar pruebas en CORPAIRE y el m_c , obtenido a través de cálculos de consumo; se tiene:

PARA 3000 RPM:

$$Tq(N.m) = 122.758$$

$$m_c \left(\frac{g}{h} \right) = 103.91$$

Al reemplazar datos en la ecuación 6 y ecuación 7:

$$q^{\circ}L(MEZCLA) = \frac{q^{\circ}L(DIESEL) + q^{\circ}L(ACEITE)}{2}$$

$$q^{\circ}L(MEZCLA) = 0.012 \frac{KW.h}{g}$$

$$P_f = \frac{2\pi * 122.758 N.m * 3000 RPM}{60}$$

$$P_f = 38.56 KW$$

$$\eta_t = \frac{38.56 KW}{103.91 \frac{g}{h} * 0.012 \frac{KW.h}{g}}$$

$$\eta_t = 30.49 \%$$

El rendimiento térmico de un motor diesel está en el rango de 35 a máximo 45%, a esto se debe su buen rendimiento el mismo que va de la mano con la elevada

relación de compresión mientras que en los de gasolina apenas se consigue un 24% aproximadamente, dado que no se pierde tanta energía en los gases de escape, por tanto dicha cantidad es aceptable.

5.2. TABLAS, CURVAS Y GRÁFICAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 5%.

5.2.1 POTENCIA Y TORQUE

De acuerdo a la figura 5.9, la potencia aumentó. Se ve claramente una curva pronunciada; la misma que alcanzó un valor de $75.2 \text{ HP}@2960 \text{ RPM}$, con respecto a la figura 5.1 determinó un incremento de 5 HP , y con tan solo una pequeña cantidad de aceite.

Un caso similar sucedió con el torque, el mismo que incrementó su valor a $138.2 \text{ lbf.ft}@2080$, significa que es capaz de acelerar desde bajas revoluciones con mucha facilidad. Esto va relacionado con la capacidad de llenado de los cilindros del motor, los cuales, cuando el motor gira despacio, alcanzan a llenarse casi completamente de mezcla mejorando la eficiencia volumétrica.

Este es el caso ideal, ya que consiguieron 5 HP y se elevó el torque, esto involucra mover al vehículo con gran facilidad

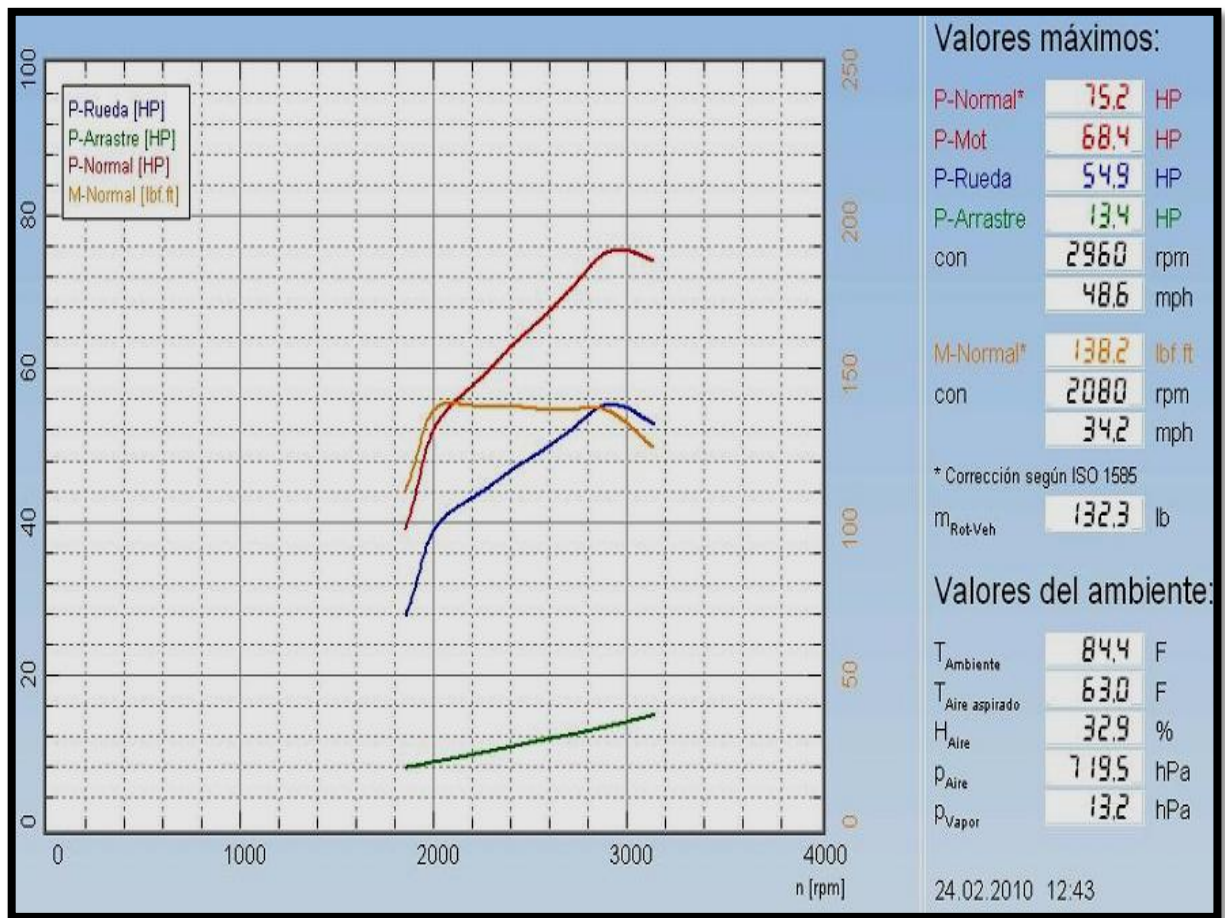


FIGURA 5.8. Curva de potencia y torque con mezcla de aceite al 5%

5.2.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON LA MEZCLA AL 5%.

Los datos obtenidos, se organizan de mejor manera, de ahí se obtiene:

TABLA V.10 Datos de K obtenidos al realizar las pruebas.

RPM	TIEMPO(min)	K(cc)
Ralentí	5	$9 * 10^{-4} cc$
1000	5	$2 * 10^{-3} cc$
2000	5	$4 * 10^{-3} cc$

3000	5	$8 * 10^{-3} cc$
4000	5	0.016cc

Con estos datos podemos obtener el verdadero consumo por hora a diferente carga, para ello consideramos la densidad del aceite de higuera y la del diesel en un valor promedio; entonces se tiene:

$$\rho = 433.36 \text{ g/cc}$$

$$B_{Ralentí} = \frac{9 * 10^{-4} cc * 433.36 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{Ralentí} = 4.6802 \frac{g}{h}$$

$$B_{1000} = \frac{2 * 10^{-3} cc * 433.36 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{1000} = 10.4006 \frac{g}{h}$$

$$B_{2000} = \frac{4 * 10^{-3} cc * 433.36 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{2000} = 20.8012 \frac{g}{h}$$

$$B_{3000} = \frac{8 * 10^{-3} cc * 433.36 \frac{g}{cc} * 3600}{300 s}$$

$$B_{3000} = 41.6025 \frac{g}{h}$$

$$B_{4000} = \frac{0.016 \text{ cc} * 433.36 \frac{\text{g}}{\text{cc}} * 3600}{300 \text{ s}}$$

$$B_{4000} = 83.2051 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

De tal manera que los resultados se puedan graficar, tenemos que:

TABLA V.11 Consumo por hora a diferentes revoluciones (mezcla al 5%)

N(RPM)	B(g/h)
900	4.6802
1000	10.4006
2000	20.8012
3000	41.6025
4000	83.2051

La curva resultante es:

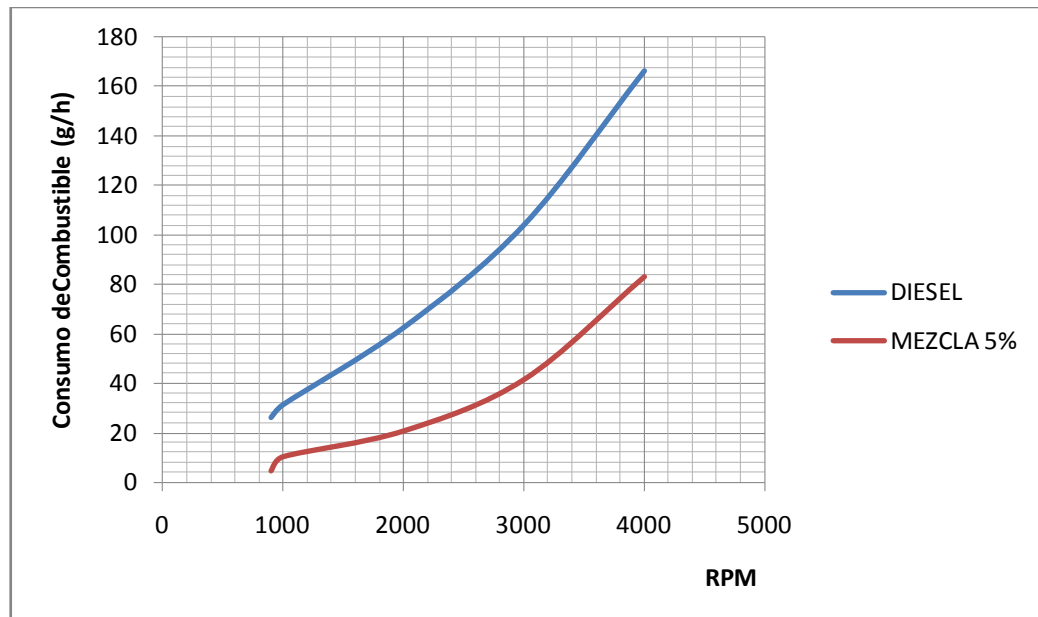


FIGURA 5.9 Consumo específico de combustible con diesel y mezcla al 5%

Con respecto al consumo con diesel, hay una variación significativa al 5%, la curva muestra una tendencia normal, pero al analizar casos puntuales tenemos: con el diesel a 3000 RPM consume 105 *g/h*, mientras que con la mezcla a las mismas RPM consume 40 *g/h*. En cambio a 2000 rpm con diesel consume alrededor de 65 *g/h*, y con la mezcla se reduce a 20 *g/h*. El consumo se reduce a menos de la mitad con respecto al consumo normal con el combustible diesel.

5.2.3 ANÁLISIS DE GASES (HC, CO, NOX, CO2) CON DIESEL Y ACEITE AL 5%.

En la figura 5.11 se puede observar que la emisión máxima de HC a plena aceleración con diesel es 13 ppm. Mientras que el mínimo es 2 ppm en ralentí, este valor es correcto ya que en un motor a diesel el abundante cantidad de aire en la mezcla aire/combustible provoca que las emisiones de HC sean relativamente bajas.

Las emisiones se incrementan al usar la mezcla diesel/aceite al 5%, a máxima aceleración emite 26 ppm y en ralentí 9 ppm de HC, aumentan debido a que el aceite está enriqueciendo la mezcla.

Al comparar ambos datos, las emisiones en máxima aceleración y en ralentí prácticamente se duplican, por lo tanto contamina 13 ppm más que con diesel.

A pesar de este incremento sigue estando dentro del límite permitido.

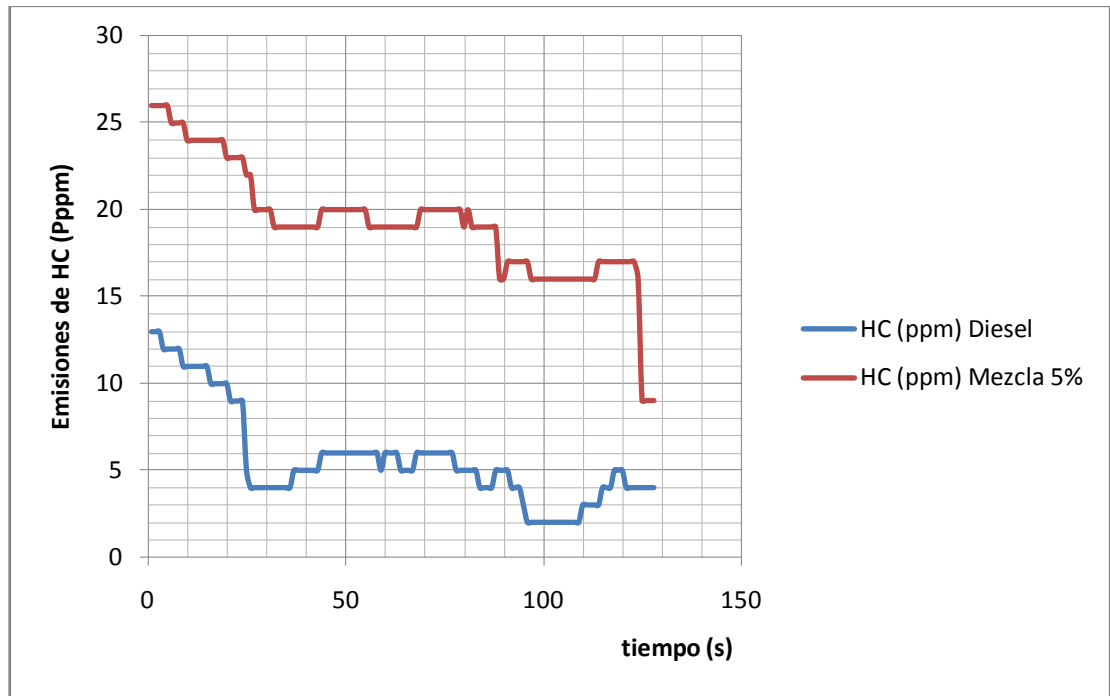


FIGURA 5.10 Emisiones de HC con diesel y mezcla al 5%

En esta figura 5.12, las emisiones de CO registran un valor máximo a plena aceleración de 0.31%, mientras que en ralentí se observa un valor mínimo de 0.01%. Estos valores expresados en concentración son: 3100 ppm y 100 ppm.

El límite permitido es de 100 – 450 ppm en ralentí y a máxima potencia de 350 – 2000 ppm, de acuerdo a esto se observa que las emisiones en ralentí están dentro de lo admisible, y las emisiones a máxima potencia superan el valor normal.

De esta manera las emisiones de CO con la mezcla diesel y aceite al 5%, aumentan en 1100 ppm, por tanto contamina más que con el diesel.

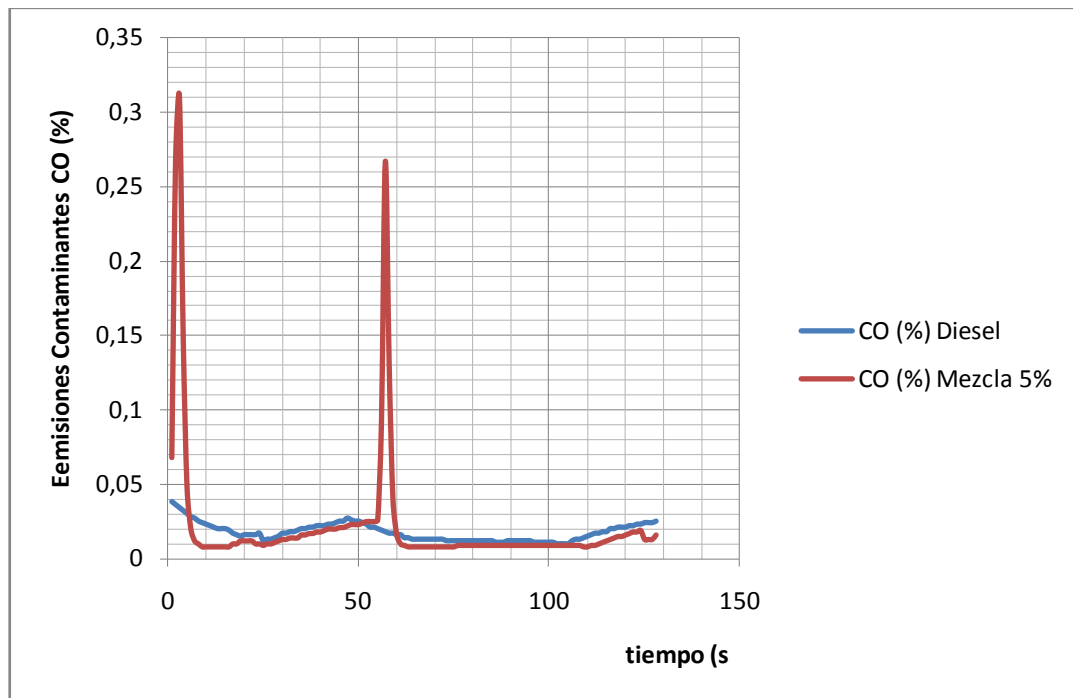


FIGURA 5.11 Emisiones de CO con diesel y mezcla al 5%.

En la figura 5.13, se observa un valor máximo de 1550 ppm de NOx a plena aceleración con diesel, mientras que en ralentí hay un valor mínimo de ppm.

Con la mezcla como combustible hay un retraso en la formación de la curva, pero sigue siendo la misma. La emisión máxima de NOx es alrededor de 1600 ppm y la mínima es 250 ppm

Hay que tomar en cuenta que la forma de conducir es un factor que influye mucho en la emisión de gases contaminantes.

Al comparar ambos datos, no hay una variación que involucre profundizar su análisis. El rango admisible es en ralentí de 50 -200 ppm, mientras que a máxima potencia es de 600 – 2500 ppm. El valor de emisiones de NOx en ralentí, ha sufrido un incremento de 50 ppm, por tanto está contaminando levemente.

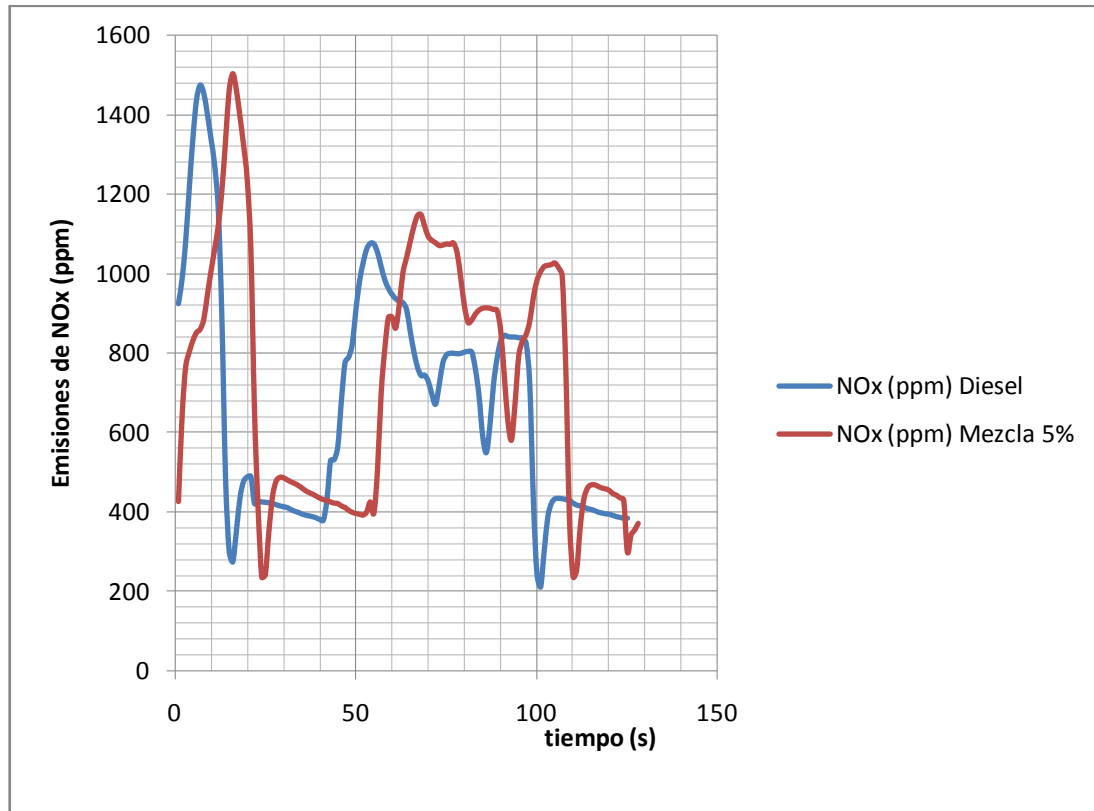


FIGURA 5.12 Emisiones de NOx con diesel y mezcla al 5%.

En la figura 5.14, se observa un máximo valor de 9.5 % de CO₂ con diesel, mientras que en ralentí el valor mínimo es 5%. Al usar la mezcla se obtiene un valor máximo de alrededor 10% de CO y un valor mínimo de 5%.

Al comparar las curvas hay un ligero incremento de emisiones de CO₂ al usar la mezcla, dicha variación no es significativa, estas emisiones podrían ser absorbidas por la misma planta.

Los valores obtenidos permiten que estén dentro del rango permisible.

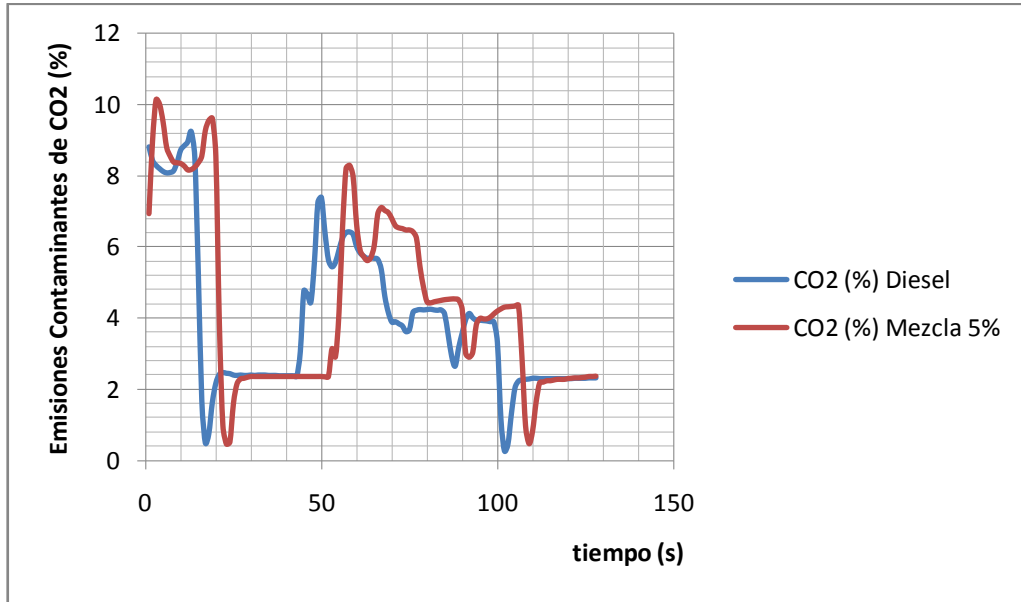


FIGURA 5.13 Emisiones de CO2 con diesel y mezcla al 5%.

Como se puede observar en la figura 5.15, la curva más representativa es la que corresponde a las emisiones de NOx, claramente se observa el aumento en las emisiones contaminantes, esto se debe al enriquecimiento de la mezcla por el aceite, es decir la mezcla no se combustiona completamente.

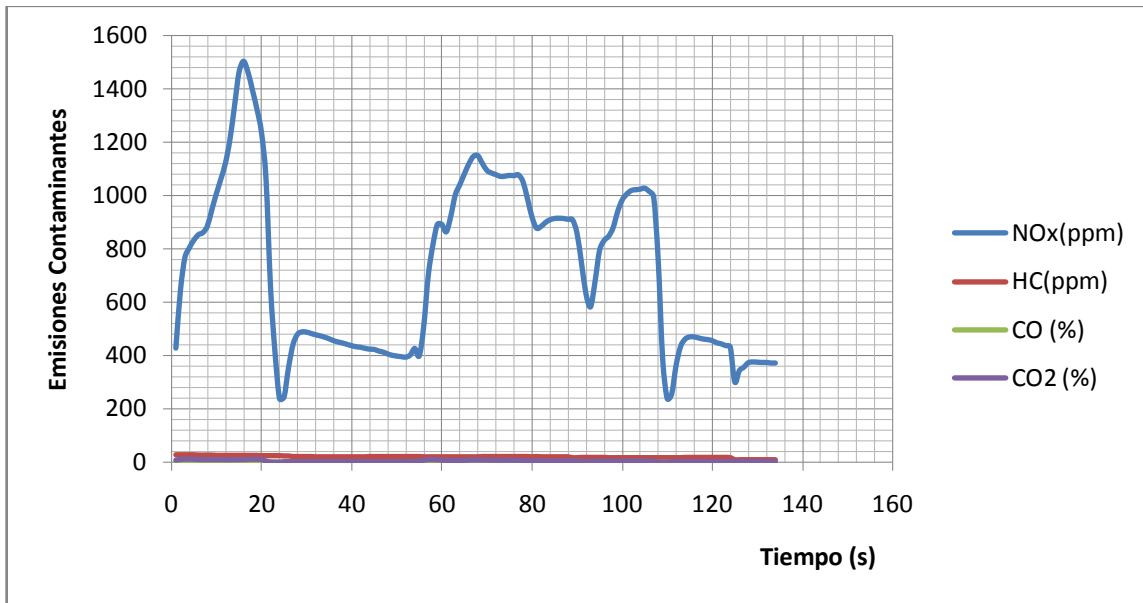


FIGURA 5.14 Emisiones contaminantes con una mezcla de aceite de higuerilla al 5%

5.2.4 OPACIDAD

Datos obtenidos en la prueba:

TABLA V.12 Valores obtenidos al realizar la prueba de opacidad con mezcla al 5%

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN		ESPECIFICACIÓN DEL FABRICANTE	
Potencia máxima del motor	Número de RPM a la potencia máxima del motor.	Potencia máxima del motor	Número de RPM a la potencia máxima del motor.
55.7 KW = 74.69 HP	3020 RPM	56 KW = 75.09 HP	2960 RPM

Ver Anexo "I" (Datos obtenidos en la prueba de opacidad con diesel/aceite al 5%)

TABLA V.13 Análisis del gas de humo a 100% de velocidad máxima

Valor k:	$0.05m^{-1}$.
----------	----------------

	Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	3019 <i>RPM</i>
Velocidad:	$78.2 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	20.9 <i>KW</i>

Aplicando la ecuación 4, se tiene:

$$k_{100\%} = 2\% **$$

TABLA V.14 Análisis del gas de humo a 90% de velocidad máxima

Valor k:	$0.02m^{-1}$. Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	2719 <i>RPM</i>
Velocidad:	$70.4 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	6.7 <i>KW</i>

Aplicando la ecuación 4, se tiene:

$$k_{90\%} = 1\% **$$

TABLA V.15 Análisis del gas de humo a 80% de velocidad máxima

Valor k:	$0.01m^{-1}$. Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	2417 <i>RPM</i>

Velocidad:	$62.6 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	$7.1 KW$

Aplicando la ecuación 4, se tiene:

$$k_{80\%} = 0 \% **$$

(**) Los valores de opacidad son realmente bajo, pero es normal ya que se ha hecho otras pruebas y se han obtenido los mismos resultados.

La prueba dinámica es más objetiva que la estática, ya que en esta última hay muchas variables como son: la temperatura del motor, si el turbo entra en funcionamiento, además cada operador acelera de una manera diferente, etc.

Por lo tanto los valores obtenidos están bajo toda normalidad para una prueba dinámica, en estática siempre son más altos.

5.2.5 EFICIENCIA TÉRMICA.

Se tiene como dato el Tq , ver Anexo "K" (Tablas de excel con los valores de torque y potencia con mezcla al 5%) de los parámetros obtenidos al realizar pruebas en CORPAIRE y el m_c , obtenido a través de cálculos de consumo; se tiene:

PARA 3000 RPM:

$$Tq(N.m) = 131,599$$

$$m_c(g/h) = 41,6025$$

Al reemplazar datos en la Ecuación 7 y Ecuación 8:

$$P_f = \frac{2\pi * 131.599 \text{ N.m} * 3000 \text{ RPM}}{60}$$

$$P_f = 41.34 \text{ KW}$$

$$\eta_t = \frac{41.34 \text{ KW}}{41.6025 \frac{\text{g}}{\text{h}} * 0.012 \frac{\text{KW.h}}{\text{g}}}$$

$$\eta_t = 41.40 \%$$

El valor obtenido es realmente significativo; ya que si comparamos los resultados obtenidos, se tiene que con el diesel la eficiencia térmica bordea un 30 %, mientras que con la mezcla al 5% aumenta aproximadamente un 10.91%, de tal manera que

Está aprovechándose de mejor manera el calor generado por la combustión, debido a que la composición del aceite hace que sea fácilmente inflamable al ser mezclado con diesel

5.3 TABLAS, CURVAS Y GRÁFICAS CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR CON MEZCLA DE DIESEL MÁS ACEITE DE HIGUERILLA AL 10%.

5.3.1 POTENCIA Y TORQUE

La potencia normal a incrementado su valor a 77.5 HP, hay una diferencia de 7.3 HP comparada con los valores preliminares de la figura 5.1, el valor es representativo ya que el aceite está actuando como un aditivo natural, a lo que se explica el notable incremento.

En este caso, el torque difiere de los anteriores ya que se redujo a 93 HP, se puede considerar ambos parámetros para comprobar la elasticidad de un motor, especialmente cuando se conduce en pendientes ya bajo esta condición aumenta la resistencia a la traslación que el vehículo tiene que vencer.

El vehículo tendrá la potencia pero no la fuerza para salir sin problemas, de esta manera se está forzando al motor; afectando notablemente al buen desempeño mecánico del mismo.

Esta reducción posiblemente se debe a que hubo un retardo en el ingreso de la mezcla aire combustible. Podemos ver que este motor a altas revoluciones no necesita producir mucho torque para obtener mucha potencia,

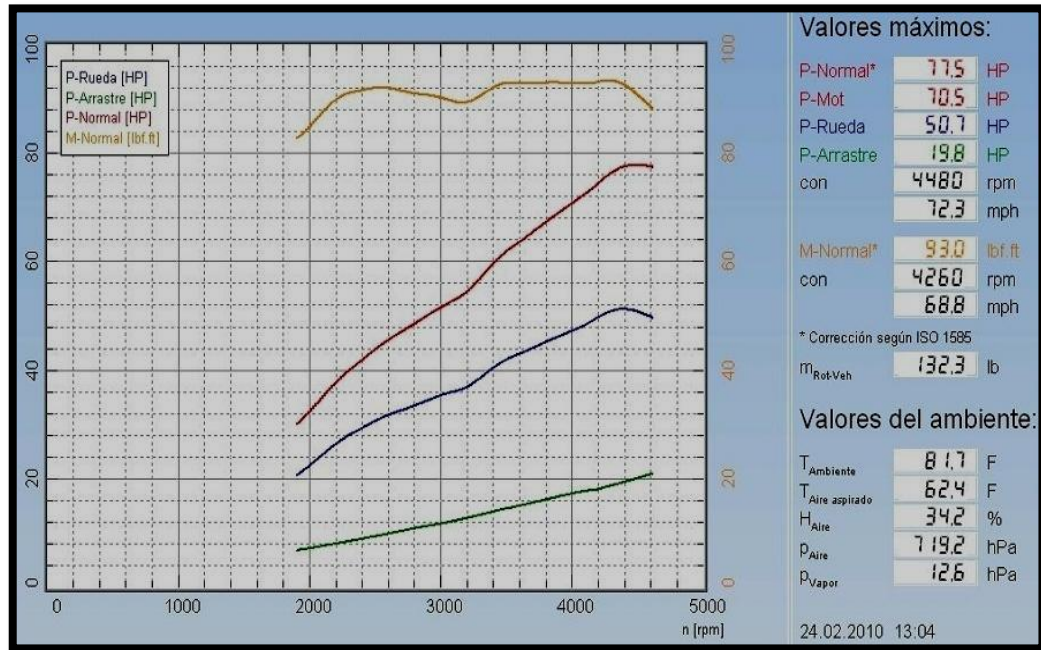


FIGURA 5.15 Curva de potencia y torque mezcla al 10%

5.3.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON LA MEZCLA AL 10%.

Para esto se dispuso de 2 litros. de diesel y 200 ml de aceite.

TABLA V.16 Datos de K de la prueba realizada. (Mezcla al 10%)

RPM	TIEMPO(min)	K(cc)
Ralentí	5	$1.2 * 10^{-3} cc$
1000	5	$2 * 10^{-3} cc$
2000	5	$4 * 10^{-3} cc$
3000	5	$8 * 10^{-3} cc$
4000	5	0.016cc

Con estos datos podemos obtener el verdadero consumo específico por hora a diferente carga, de igual manera se considera:

$$\rho = 434.36 \text{ g/cc}$$

$$B_{Ralentí} = \frac{1.2 * 10^{-3} \text{ cc} * 434.36 \frac{\text{g}}{\text{cc}} * 3600}{300 \text{ s}}$$

$$B_{Ralentí} = 6.2547 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$B_{1000} = \frac{2 * 10^{-3} \text{ cc} * 434.36 \frac{\text{g}}{\text{cc}} * 3600}{300 \text{ s}}$$

$$B_{1000} = 10.4246 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$B_{2000} = \frac{4 * 10^{-3} \text{ cc} * 434.36 \frac{\text{g}}{\text{cc}} * 3600}{300 \text{ s}}$$

$$B_{2000} = 20.8492 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$B_{3000} = \frac{8 * 10^{-3} \text{ cc} * 434.36 \frac{\text{g}}{\text{cc}} * 3600}{300 \text{ s}}$$

$$B_{3000} = 41.6985 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$B_{4000} = \frac{0.016 \text{ cc} * 434.36 \frac{\text{g}}{\text{cc}} * 3600}{300 \text{ s}}$$

$$B_{4000} = 83.3971 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

De tal manera que los resultados obtenidos se puedan graficar, tenemos:

TABLA V.17 Valores obtenidos al realizar la prueba de opacidad con mezcla al 10%.

N(RPM)	B(g/h)
900	6.2547
1000	10.4246
2000	20.8492
3000	41.6985
4000	83.3971

Para un mejor análisis, se considera superponer las curvas:

En la figura 5.17 se observa que la curva de consumo de combustible al 5 y 10% no presentan variaciones significativas; además se observa que a 3000 RPM el consumo con diesel es aproximadamente 105 g/h ; mientras que a las mismas revoluciones con la mezcla de diesel y aceite de higuera al 5 y 10%, se reduce el consumo a alrededor de 40 g/h . Veamos otro ejemplo: a 2000 RPM con diesel hay un consumo de 65 g/h y con las mezclas un consumo de 20 g/h .

Claramente se observa una reducción en el consumo de combustible de aproximadamente 30%, prácticamente una cantidad ya considerable.

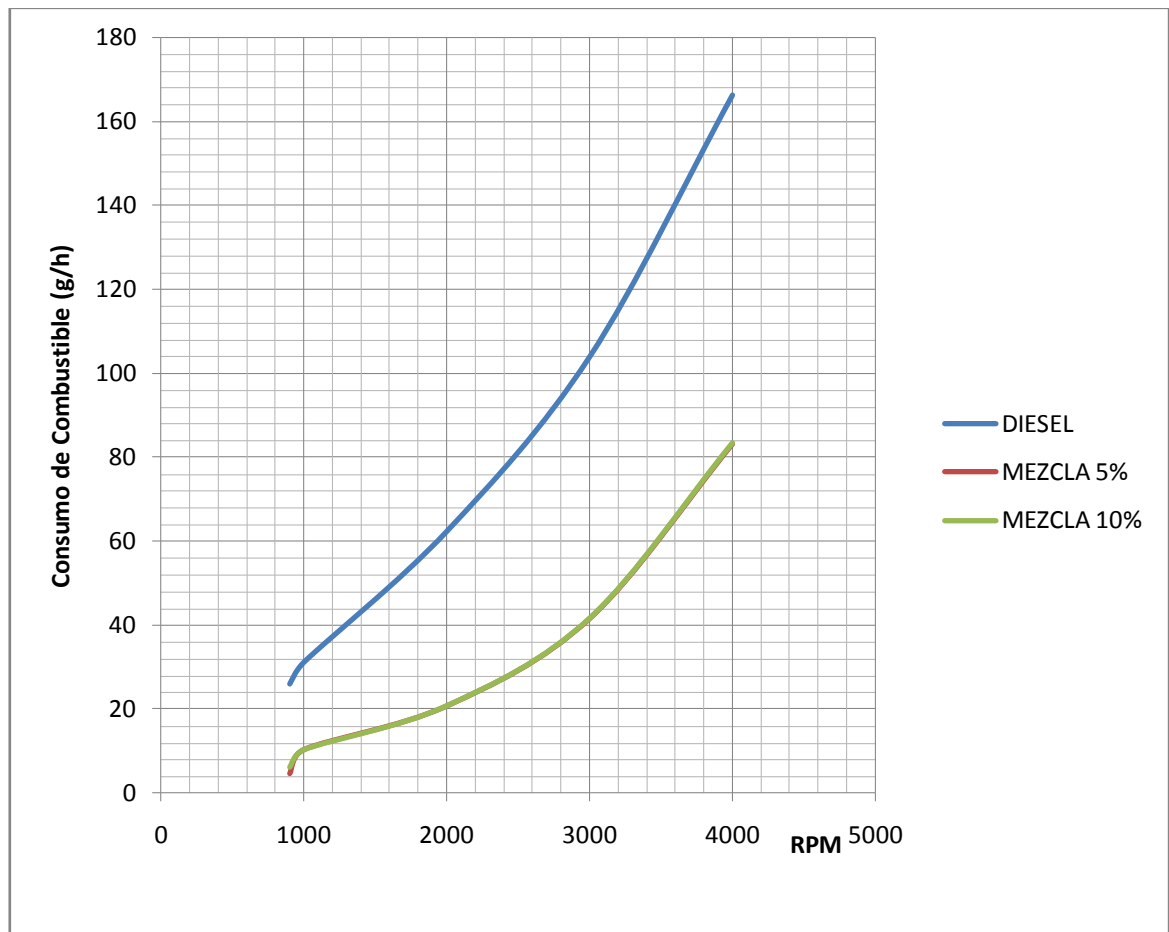


FIGURA 5.16 Consumo específico de Combustible con diesel, mezcla al 5 - 10%

5.3.3 ANÁLISIS DE GASES (HC, CO, NOX, CO2) CON DIESEL Y ACEITE AL 10%

En la figura 5.18, se puede observar que a plena aceleración hay una máxima emisión de HC de 28 ppm con mezcla al 10%, así mismo se observa que hay 26 ppm con mezcla al 5% y con diesel 13 ppm como emisiones de HC.

El aumento en las emisiones de HC, se incrementa a medida que se eleva la cantidad de aceite en la mezcla, así es que se incrementó en 15 ppm; el vehículo con la última mezcla contamina más que con diesel, pero considerando el valor límite de < 50 ppm, los valores obtenidos son bastante bajos, por ende están dentro del rango permitido y la mezcla si califica como uso para combustible.

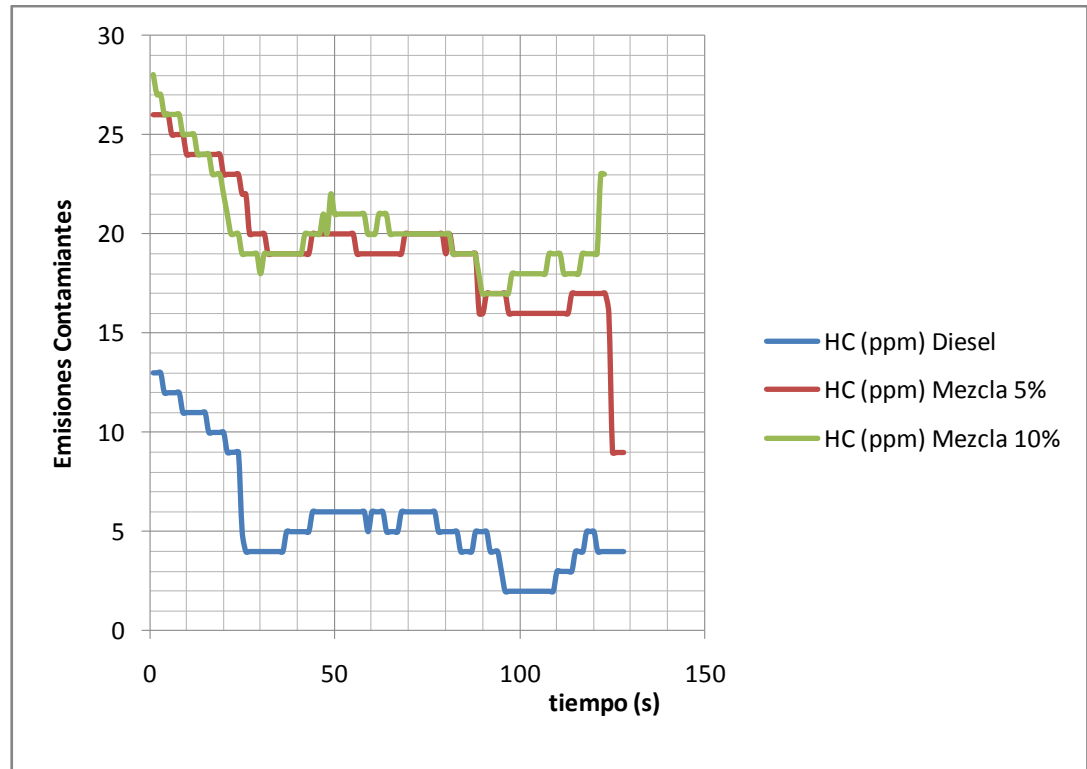


FIGURA 5.17 Emisiones de HC con diesel y mezclas al 5 – 10 %

En la figura 5.19, el valor máximo de CO es 0.42 % a plena aceleración utilizando la mezcla diesel/aceite al 10% como combustible, expresada en concentración se tiene 4200 ppm en cambio las emisiones tanto con la mezcla al 5 % como con diesel no varía significativamente, llegando a una emisión de 0.31 % a máxima aceleración, es decir 3100 ppm

Si comparamos las curvas se observa que el porcentaje de emisiones de CO aumenta, al agregar más aceite al combustible original.

Sin embargo el límite permisible es 2000 ppm, al compararlo con los datos obtenidos se tiene, que hay mayor cantidad de emisiones de CO, este valor es superior al de las emisiones con diesel.

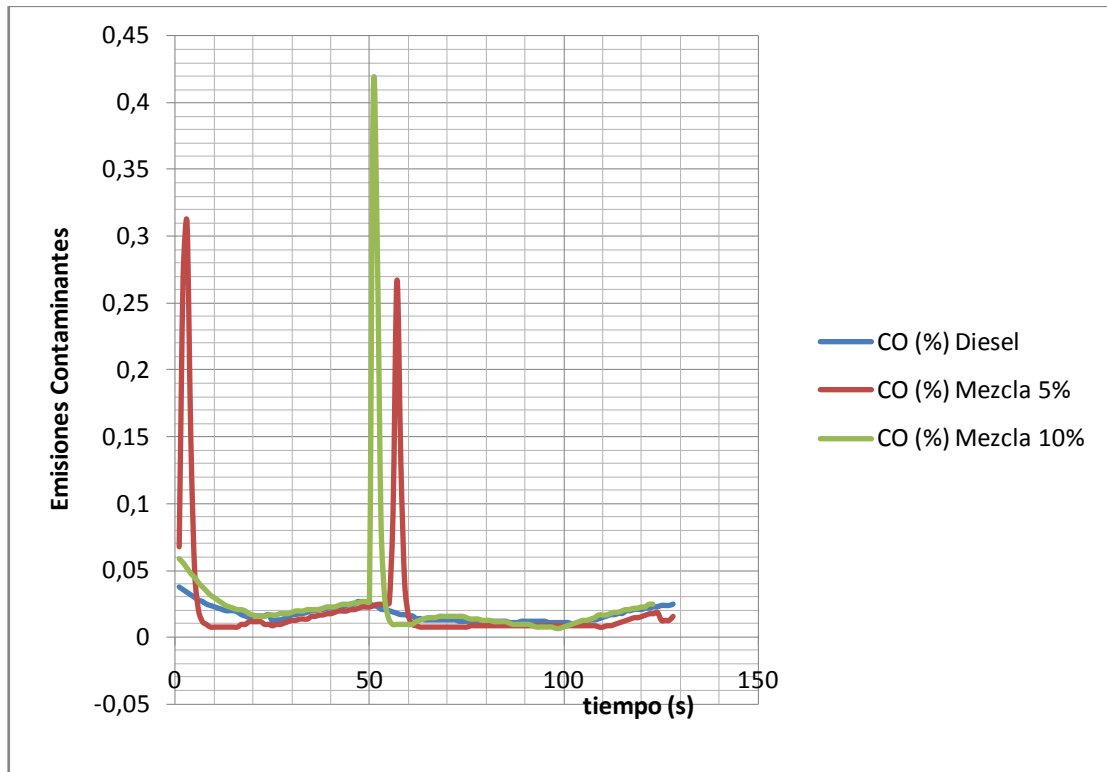


FIGURA 5.18. Emisiones de CO con diesel y mezclas al 5 – 10 %.

En la figura 5.20, se observa un valor máximo de 1600 ppm a plena aceleración con la mezcla diesel /aceite al 10%, mientras que con la mezcla 5% se registra un valor máximo de alrededor de 1550 ppm y con diesel un valor de 1500 ppm.

Claramente se observa que la variación de emisiones de NOx con diesel y las diferentes mezclas no varía significativamente, si no que más bien sus valores están en rango de 1500 a 1600 ppm; lo cual es normal. Por tanto su utilización para vehículos es válida.

Las curvas son parecidas, sin embargo hay que tomar en cuenta la forma de conducir y que el turbo no estaba funcionando. De acuerdo a la curva de emisiones con diesel, el vehículo es nuevo y además cuenta con un catalizador.

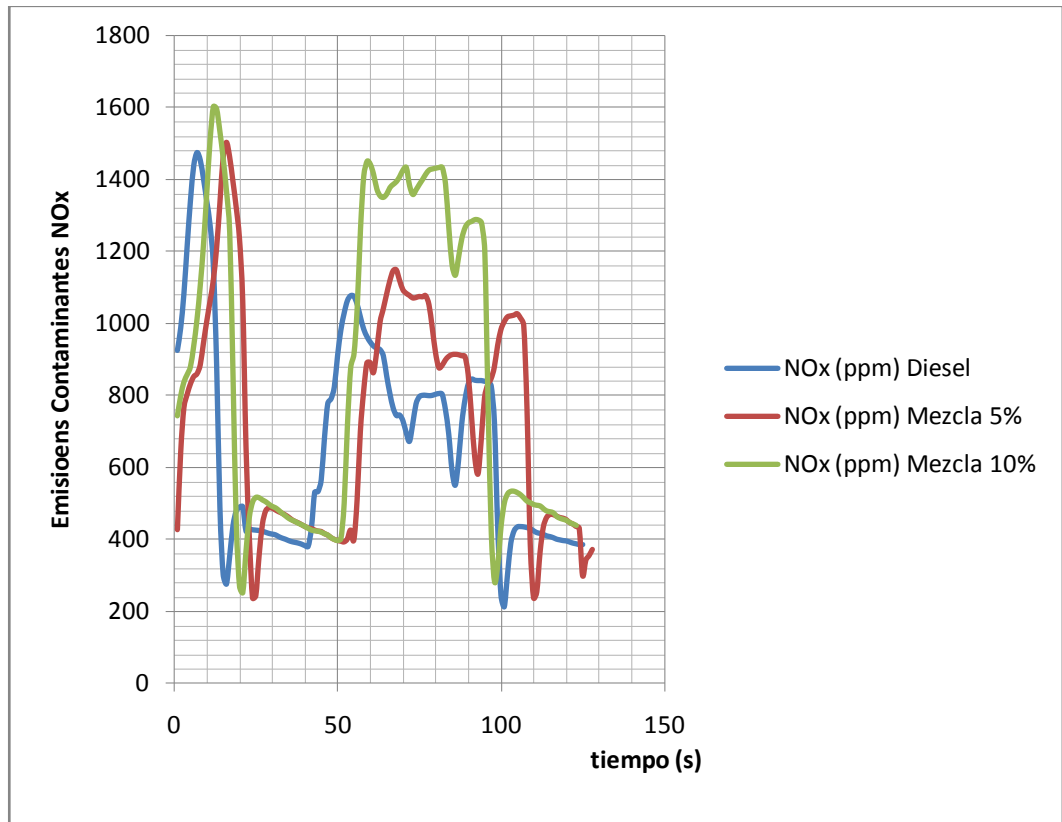


FIGURA 5.19 Emisiones de NOx con diesel y mezclas al 5 – 10 %

En la figura 5.21, se observa un valor máximo de CO₂ a plena aceleración de aproximadamente 9.5% con mezcla al 10%, mientras que con la mezcla al 5% el porcentaje de emisiones máximo es alrededor de 10.3% y con diesel se registra 9.5%.

Si se comparan las curvas, se tiene que las emisiones de CO₂ se han incrementado ligeramente al utilizar la mezcla al 5%, con diesel y la mezcla al 10%, se observan valores similares de emisiones.

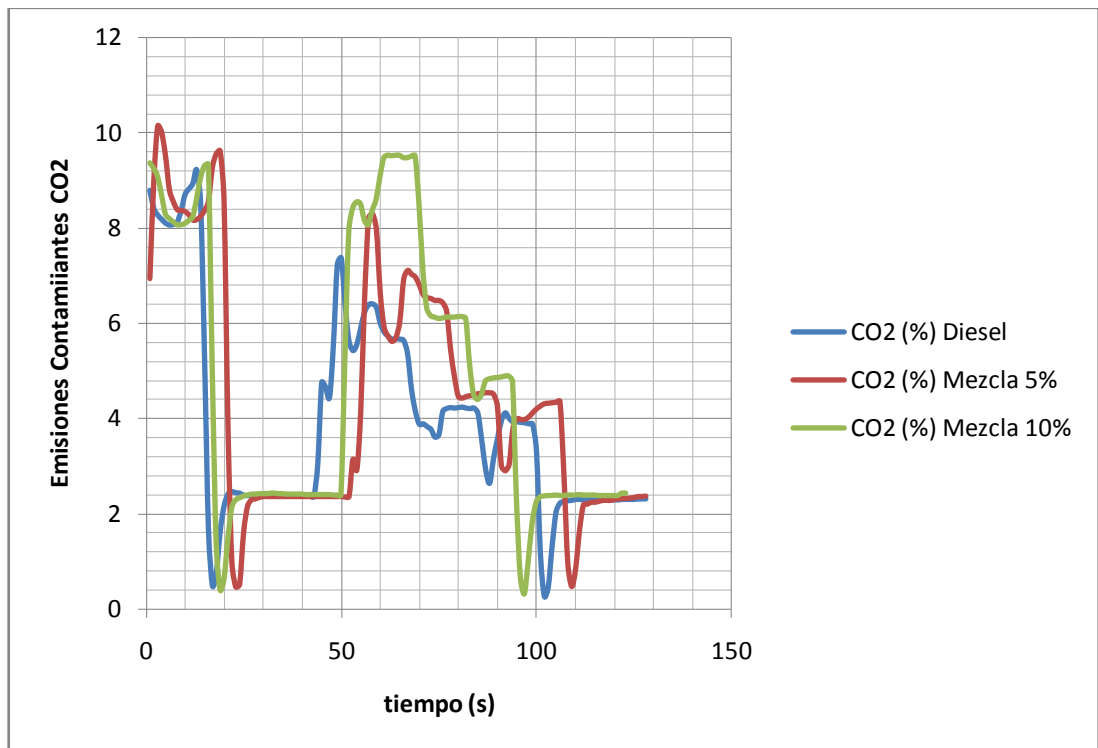


FIGURA 5.20 Emisiones de CO2 con diesel y mezclas al 5 – 10 %.

En figura 5.22 se observa que la mayor emisión de gases proviene del NOx, existe un consenso en las emisiones al usar aceite vegetal como combustible, además este incremento depende del tipo de aceite, obteniéndose menores emisiones entre más compuestos saturados tenga. Los argumentos para explicar esta tendencia se basan en que el aceite, por su mayor avance a la inyección y más rápido inicio de la combustión, produce una temperatura pico más elevada durante la fase de combustión. Otro argumento se basa en que hay mayor disponibilidad de oxígeno en la cámara de combustión para combinarse con el nitrógeno y formar los NOx.

Las emisiones mayoritarias se produjeron a elevados grados de aceleración, en los que las condiciones de temperatura en el motor son mayores.

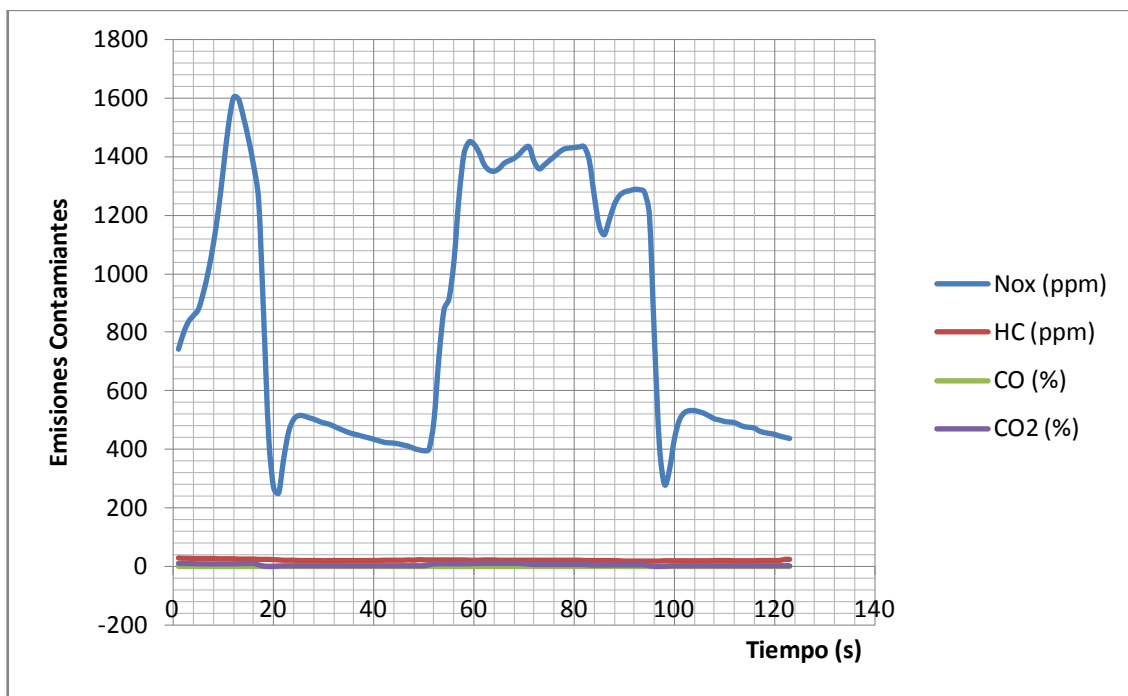


FIGURA 5.21 Emisiones contaminantes con diesel más aceite al 10%.

5.3.4 OPACIDAD

Datos obtenidos en la prueba:

TABLA V.18 Valores obtenidos al realizar la prueba de opacidad con mezcla al 10%.

RESULTADOS DE LA MEDICIÓN		ESPECIFICACIÓN DEL FABRICANTE	
Potencia máxima del motor	Número de RPM a la potencia máxima del motor.	Potencia máxima del motor	Número de RPM a la potencia máxima del motor.
49.2 KW = 65.97 HP	3005 RPM	56 KW = 75.09 HP	3020 RPM

Ver Anexo "I". (Datos obtenidos es la prueba de opacidad en CORPAIRE con la mezcla diesel/aceite al 10%)

TABLA V.19 Análisis del gas de humo a 100% de velocidad máxima

Valor k:	$0.14 m^{-1}$. Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	3002 RPM
Velocidad:	$77.9 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	42.6 KW

Aplicando la ecuación 4, se tiene:

$$k_{100\%} = 6 \% ***$$

TABLA V.20 Análisis del gas de humo a 90% de velocidad máxima

Valor k:	$0.02 m^{-1}$. Valor límite: $1.61m^{-1}$
Número de RPM:	2702 RPM
Velocidad:	$70.1 \frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	20.4 KW

Aplicando la ecuación 4, se tiene:

$$k_{90\%} = 1\% ***$$

TABLA V.21 Análisis del gas de humo a 80% de velocidad máxima

Valor k:	0.02 m ⁻¹ . Valor límite: 1.61m ⁻¹
Número de RPM:	2403 RPM
Velocidad:	62.3 $\frac{km}{h}$
Potencia de las ruedas:	11.1 KW

Aplicando la ecuación 4, se tiene:

$$k_{80\%} = 1\% \text{ ***}$$

(***) Los valores de opacidad son realmente bajo, pero es normal ya que se ha hecho otras pruebas y se han obtenido los mismos resultados.

La prueba dinámica es más objetiva que la estática, ya que en esta última hay muchas variables como son: la temperatura del motor, si el turbo entra en funcionamiento, además cada operador acelera de una manera diferente, etc.

Por lo tanto los valores obtenidos están bajo toda normalidad para una prueba dinámica, en estática siempre son más altos.

5.3.5 EFICIENCIA TÉRMICA

Se tiene como dato el Tq , ver Anexo "K" (Tablas de excel con los valores de torque y potencia con mezcla al 10%) de los parámetros obtenidos al realizar pruebas en CORPAIRE y el m_c , obtenido a través de cálculos de consumo; se tiene:

PARA 3000 RPM:

$$Tq(N.m) = 131,978$$

$$m_c \left(\frac{g}{h} \right) = 41.698$$

Al reemplazar datos en la ecuación 7 y ecuación 8:

$$P_f = \frac{2\pi * 131.978 N.m * 3000 RPM}{60}$$

$$P_f = 41.46 KW$$

$$\eta_t = \frac{41.46 KW}{83.20 \frac{g}{h} * 0.012 \frac{KW.h}{g}}$$

$$\eta_t = 41.52 \%$$

Con respecto a la mezcla al 5% hay un incremento en la eficiencia térmica de 0.12 %, y con respecto al diesel 11.03%. Este es un valor representativo ya que se está aprovechando de mejor manera el calor generado por la combustión del aire/combustible para ser transformado en fuerza motriz o trabajo útil, a ello también se explica la elevación de la potencia. Es así que se aprovechara más la energía, debido a un aporte extra de oxígeno molecular.

En resumen se tiene que:

En la figura 5.23, se observa que con respecto a la potencia tiene un mayor rendimiento del motor con la mezcla al 10%, mientras que el mejor torque se obtiene con la mezcla al 5%.

La potencia se elevó en un 10%, con respecto al diesel puro y en un 4% al compararlo con la mezcla al 5%.

El torque se elevó 18% con respecto al diesel puro y un 25 % al compararlo con la mezcla al 10%. Por lo que se podría afirmar que si el usuario necesita mayor torque o mayor potencia deberá elegir entre la mezcla al 5% o la mezcla al 10%, según sea su conveniencia.

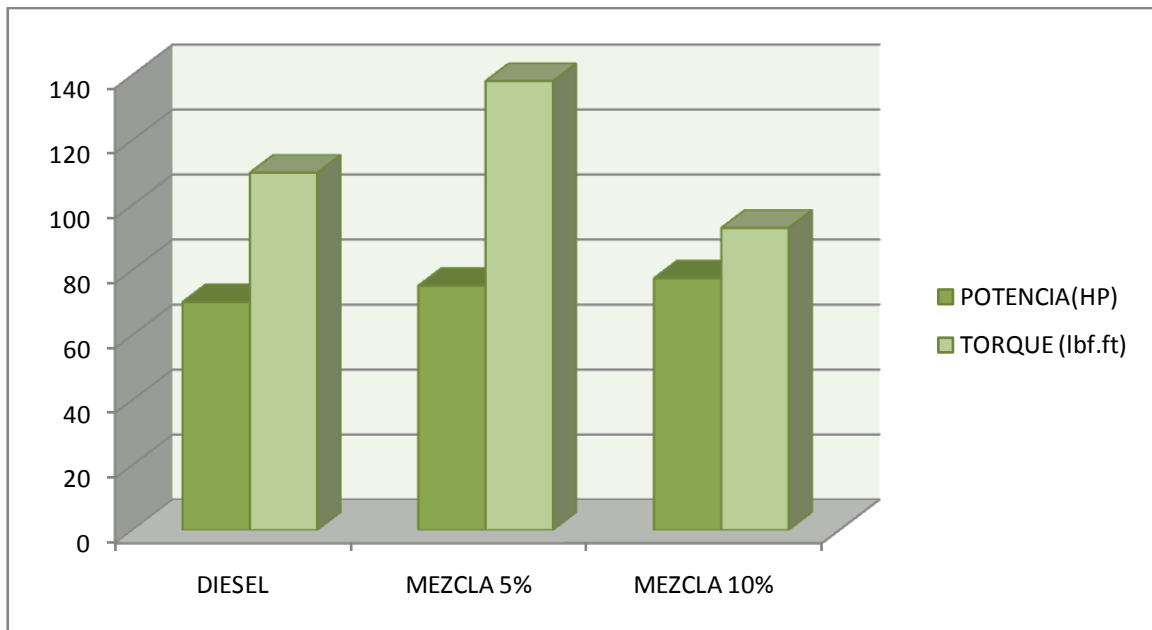


FIGURA 5.22 Comparación de la potencia y torque con diesel y mezclas al 5 -10%.

Con respecto al consumo de combustible, se observa que hay una reducción notable con respecto a este parámetro, obteniendo un consumo similar en ambas mezclas. Ver figura 5.23.

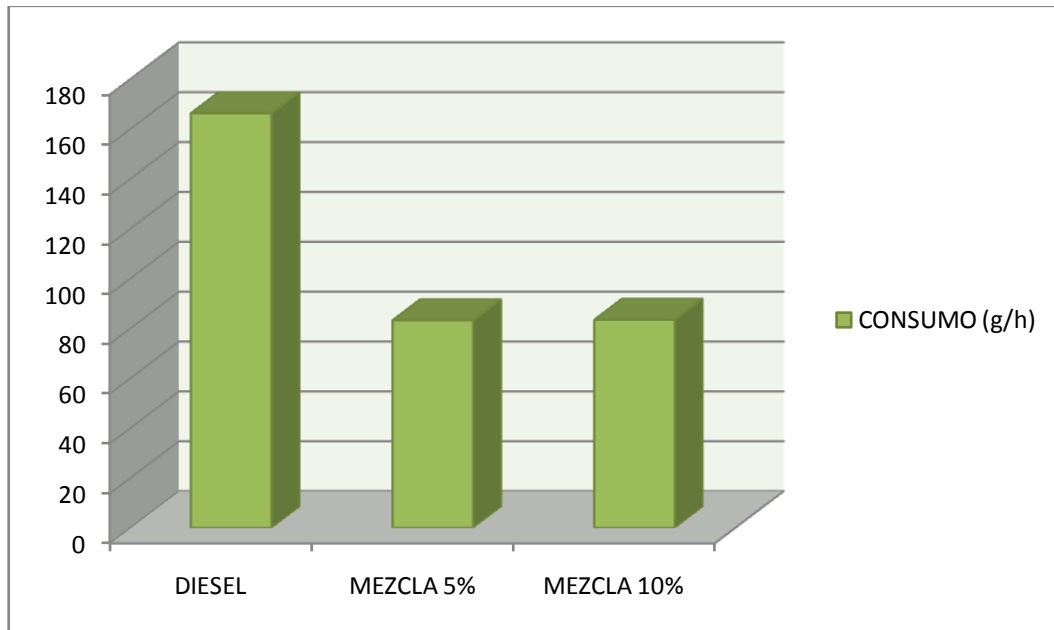


FIGURA 5.23 Comparación del consumo con diesel y mezclas al 5 -10%.

Así mismo las emisiones mayoritarias con respecto al diesel, ver figura 5.25 son de NOx, así como las minoritarias provienen de los hidrocarburos. Con la mezcla al 5% se observa una mayor emisión de CO y NOx, además una baja emisión de HC y dióxido de carbono. Al analizar la mezcla al 10% se tiene que el valor de emisiones de CO es mayor con respecto a las anteriores, mientras que las de NOx es similar. Los hidrocarburos y el CO2 son bajos para los tres casos.

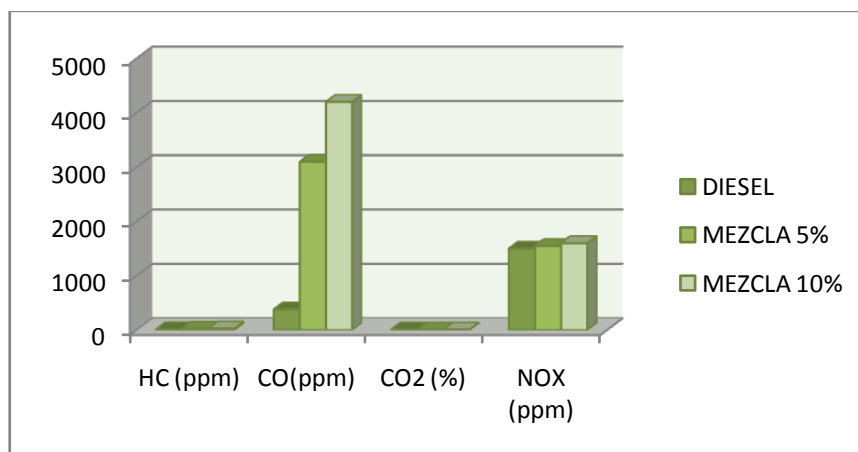


FIGURA 5.24 Comparación de las emisiones con diesel y mezclas al 5 -10%.

Con respecto a la eficiencia térmica en la figura 5.26, se observa que la mezcla al 10% permite aprovechar de mejor manera la energía producida por la combustión, generando más trabajo útil.

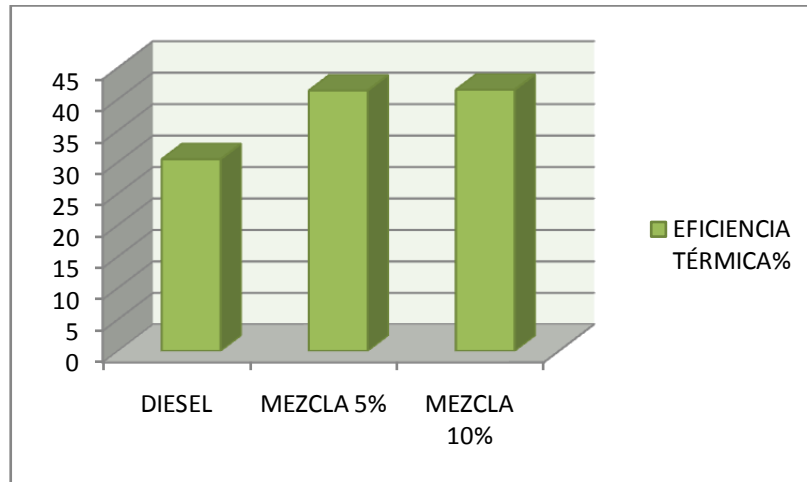


FIGURA 5.25 Comparación de la eficiencia térmica con diesel y mezclas al 5 -10%.

Para analizar se presenta un cuadro resumen que muestra los resultados obtenidos en la presente investigación, en cuanto a los parámetros netamente mecánicos.

TABLA V.22 Cuadro resumen de parámetros mecánicos.

	DIESEL	MEZCLA AL 5%	MEZCLA AL 10%
POTENCIA	70.2 HP	75.2 HP	77.5 HP
TORQUE	110.7 lbf.ft	138.2 lbf.ft	93 lbf.ft
CONSUMO A 3000 RPM	103.91 g/h	41.6 g/h	41.7 g/h
EFICIENCIA TÉRMICA	30.49 %	41.40%	41.52

De igual manera, se muestra a manera de resumen los resultados obtenidos en las emisiones contaminantes.

TABLA V.23 Cuadro resumen de emisiones contaminantes.

	HC (ppm)		CO (ppm)		NOx (ppm)		CO2 (%)	
	Ralentí 50 -500	Aceleración < 50	Ralentí 100- 450	Aceleración 350-2000	Ralentí 50-200	Aceleración 600-2500	Ralentí 3.5	Aceleración 12-16
DIESEL	2	13	380	100	200	1500	0.25	9
MEZCLA AL 5%	16	28	100	4200	250	1600	1	9.5
MEZCLA AL 10%	9	26	100	3100	250	1550	5	10

De la Tabla V.23, se observa que hay un exceso de 2200 ppm de CO con la mezcla al 5%, mientras que hay un exceso de 1100 ppm de CO al utilizar la mezcla al 10%, de esta manera tal incremento acentuaría el fenómeno conocido como efecto invernadero, reduciría a su vez la emisión de calor al espacio lo que provocará un mayor calentamiento del planeta.

5.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

5.4.1 PERSONAL

El costo del personal está incluido en los costos de los ensayos y laboratorios.

5.4.2 MISCELÁNEOS

TABLA V.24 Detalle de misceláneos

DESCRIPCIÓN	VALOR TOTAL [USD]
Manuales de consulta	30,00
Internet	35,00
Utilización de PC.	20,00
Suministros de oficina	5,00

Servicios básicos	100,00
Otros gastos	30,00
SUBTOTAL 5.4.2	220,00

5.4.3 COSTOS DIRECTOS

5.4.3.1 Ingeniería y Administración

TABLA V.25. Costos de ingeniería y administración

#	POSICIÓN	TOTAL
1	Ingeniería y Administración	500,00
SUBTOTAL 5.4.3.1		500,00

5.4.3.2 Adquisición de Materiales

TABLA V.26. Costos adquisición

Cantidad	Descripción	Costo unitario [USD]	Total [USD]
28	Galones de aceite de higuera grado industrial	4.18	117,00
½	Quintal de semillas de higuera	5,00	5,00
10	Galones de diesel ecuatoriano	1.03	10,30
4	Metros de manguera de jardín	0,50	2,00
6	Metros de manguera de presión	1,15	6,90
5	Pomos de 4 litros	1,50	7,50
1	Pomo de 5 litros	3,50	3,50
1	Embudo	1,50	1,50
1	Jarra de 1 litro	1,25	1,25
1	Jarra de ½ litro	0.85	0,85
4	Tanques plásticos de 5 litros	1,25	6,25
-	Franela	2,00	2,00
SUBTOTAL 5.4.3.2			164,05

5.4.3.3 Costos de ensayos y pruebas.

TABLA 5.27 Costos de ensayos.

ENSAYO/PRUEBA	LABORATORIO	EQUIPOS	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Medición de la densidad API	Laboratorio de Petróleos de la UCE.	Hidrómetros ASTM	8,00	8,00
Medición de la viscosidad cinemática	Laboratorio de Petróleos de la UCE.	Viscosímetro Canon ASTM, Baño.	20,00	20,00
Medición del poder calorífico	Laboratorio de Petróleos de la UCE.	Bomba calorimétrica adiabática.	40,00	40,00
Determinación del punto de vertido	Laboratorio de Petróleos de la UCE.	Tubo de vidrio, Termómetros ASTM, refrigeradora hasta - 30 [°C]	10,00	10,00
Determinación de nebulización	Laboratorio de Petróleos de la UCE.	Determinación del punto de vertido	15,00	15,00
Determinación del punto de inflamación	Laboratorio de Petróleos de la UCE.	Aparato de copa - cerrada de Pensky - Martens	20,00	20,00
Determinación del punto de ebullición	Laboratorio de Petróleos de la UCE	Termómetro graduado	15,00	15,00
Determinación del punto de congelación	Laboratorio de Petróleos de la UCE	Termómetro graduado	15,00	15,00
Medición del índice de acidez	Laboratorio de Petróleos de la UCE	-	20,00	20,00
SUBTOTAL 5.4.3.3				163,00
SUBTOTAL 5.4				884,05

5.5 COSTO TOTAL

TABLA 5.28 Costo total.

SUBTOTAL 5.4.3.3 + SUBTOTAL 5.4	1047,05
10% POR IMPREVISTOS	104,71
COSTO TOTAL	1151,76

CONCLUSIONES

Finalizado el proyecto de investigación “INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA, COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5 -10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL” me permito presentar las conclusiones para aquellas personas que utilicen el presente como medio de consulta.

- Se obtuvo el aceite de higuera mediante un molino convencional del Laboratorio de Motores de Combustión Interna, este aceite no se utilizó en las pruebas debido a que no es grado industrial.
- Se realizaron pruebas de funcionamiento con mezclas diesel/aceite al 5-10% en la camioneta Chevrolet Luv D-Max 2.5 TD para determinar el comportamiento del mismo a través de parámetros como potencia, torque, emisiones y opacidad.
- Las condiciones que permiten obtener los mayores rendimientos de biodiesel de aceite de higuera mediante un catalizador básico es temperatura ambiente (25°C), una relación alcohol/aceite de 2.1 y un porcentaje de 0.1% en peso de hidróxido de sodio. El hecho de que la reacción transcurra a temperatura ambiente es muy ventajoso ya que implica una reducción importante en los costos de producción.
- La alta viscosidad y la indeterminación del número de cetano del aceite de higuera, limitan su aplicación al usarlo puro en motores de automoción.
- Con la mezcla al 10% se tiene la potencia con su valor máximo de 77,5 HP; hay una ganancia del 10%, porcentaje lo que es significativo; ya que es un porcentaje superior al proporcionado por los aditivos conocidos comúnmente en el mercado.

- El torque máximo de 138.2 lbf.ft se obtiene con la mezcla al 5%, y un valor mínimo de 93 lbf.ft con la mezcla al 10%, por lo que se recomienda utilizar la mezcla al 5%, ya que en este caso la potencia es proporcional al torque.
- El consumo de combustible se reduce al utilizar las mezclas tanto al 5 como al 10%, comparando con el consumo habitual con diesel comercial hay una reducción del 40%.
- El rendimiento térmico del motor si se ve afectado con el uso de la mezclas diesel/aceite al 10% ya que se con esta última, se observa un incremento del 10%; probablemente debido a la aportación del oxígeno molecular.
- Las emisiones de CO a plena aceleración tiende a incrementarse al usar la mezcla al 5%, con un valor final de 2200 ppm; mientras que las de NOx elevan su valor en 50 ppm del valor límite en ralentí. Las emisiones de HC y CO2 se mantienen dentro del rango permitido.
- Si bien los resultados en el banco de ensayos hasta ahora no han mostrado las ventajas ambientales del uso de aceite, independientemente del porcentaje de mezcla de sustitución del diesel corriente, estos resultados han sido pruebas de corta duración. Se desconoce el efecto que pueda tener el uso del aceite de higuierilla ecuatoriano en pruebas de larga duración.
- En cuanto a costos se refiere, es muy buena opción utilizar el aceite de higuierilla como un aditivo ya que el precio de un galón es de \$4,17, mientras que el valor de los que se encuentran en el mercado bordean los \$20,00.

RECOMENDACIONES

- Durante el uso del dinamómetro, procurar mantener cierta distancia de los rodillos y evitar su manipulación ya que podría causar accidentes.
- Realizar estudios sobre estabilidad, lubricidad, compatibilidad de materiales y durabilidad de distintos motores Diesel al utilizar mezclas aceite de higuera con diesel a 50%.
- Realizar estudios sobre la utilización del aceite puro de higuera en un motor diesel y sus respectivas modificaciones.
- Cuando se elabore biodiesel realizar una prueba previa con aceite comestible y las cantidades recomendadas de reactivos.
- Almacenar el biodiesel en un lugar fresco, seco y a temperatura ambiente.
- Buscar alternativas para la utilización de los subproductos en la elaboración del biodiesel.
- Investigar la reacción química que sucede el instante que la mezcla se combustiona.

BIBLIOGRAFÍA

- Anónimo, (n.d) *Tabla de Composición de Aceites Vegetales*. Extraído el 4 de agosto del 2009 desde www.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm
- Anónimo, (n,d) *Propiedades del aceite de ricino*. Extraído el 15 de octubre desde <http://propiedadesdelaceite.jaimalkauzar.es/informacion-y-propiedades-del-aceite-de-ricino.html>.
- Anónimo, (n,d) *Higuerilla*. Extraído el 19 de noviembre del 2009 desde www.geocities.com/mrealcursos/higuerilla.htm.
- Delgado, Federico S. (2003). *Extracción y refinación de aceite de Higuerilla*, Tesis de grado. Extraído el 12 de diciembre del 2009.
- Rubió, Gustavo. (2005), *Los Biocombustibles: situación actual, análisis y perspectivas de la producción en MERCOSUR y del comercio con la UE, Estudio realizado durante una estadía profesional en la FAO*. Extraído el 20 de julio del 2008 de www.fao.org/sd/dim_en2/bioenergy/docs/working1_es.doc
- Ramirez, M.A., (2008). *Nota técnica LA HIGUERILLA*. (Ricinus communis). Extraído el 8 de Julio del 2008 desde www.cohep.com/Centro_doc/cies%20%20La%20Higuerilla.doc
- Mendoza, H.R ,(1985) INIAP, boletín divulgativo No. 177 Estación Experimental "Portoviejo"; , GUIA DEL CULTIVO DE HIGUERILLA
- HIGUEROIL, Cultivo de higuerilla. Extraído el 22 de Julio del 2008 desde www.karisma.org.co/Fresno/socializacionPG/docreferencia/biocombustibles/Documento%20Higuerilla.doc
- SICA, 2001, *BIODIESEL: COMBUSTIBLE SUSTITUTO*. Extraído el 20 de Juliodel 2008 desde <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/Biblioteca/Ing%20Rizzo/Varios/BIODIESEL.htm>

ANEXOS

ANEXO A
CERTIFICADO DE ANÁLISIS.



INFORME # 001-14

PARA: PAOLA MARIELA PROAÑO MOLINA (LATACUNGA-ECU)
REFERENCIA: ACEITE VEGETAL DE RICINO Ó CASTOR- GRADO INDUSTRIAL
FECHA: 23 DE DICIEMBRE DEL 2009

CANTIDAD 2 CANECAS DE 14 LITROS.

LOTE: 12/08-ACR-01/PLE

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS		METODO AOCS	
COLOR (LOVIBOND CELDA 5 ¼)	-----	Y: 10 / R: 1.3	Cc 13e-92
ACIDOS GRASOS LIBRES (OLEICO)	%	1.01	Ca 5a-40
HUMEDAD & VOLÁTILES	%	0.20	Ca Kb-38
PESO ESPECÍFICO A 25 CC	-----	0.9636	Cc 10a-25
ÍNDICE DE YODO (SIJS)	cg. /g	85	Cd 1-25
ÍNDICE DE HIDROXILO	mg. /g.	160-168	Cd 13-60
ÍNDICE DE REFRACCIÓN A 25°C		1.4775	Cc 7- 25
ÍNDICE DE SAPONIFICACIÓN	mg/g	177.8	Cd 3 - 25
IMPUREZAS INSOLUBLES	%	0.01 MAX	Ca 3 - 46
ASPECTO		CLARO Y BRILLANTE	

**ANEXO B:
ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN.**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
 DEPARTAMENTO DE PETRÓLEOS, ENERGÍA Y CONTAMINACIÓN



INFORME DE RESULTADOS
PETROLEO

Informe No: 10-03-15-P-1
 Fecha: 2010-04-16

Referencia: OT:10-03-15-P
Empresa: ESTUDIANTE DE LA ESPE
Atención: Srta. Paola Proaño
Dirección: Av. General Rumiñahui s/n
Tipo de ensayos: Físico químicos
Tipo de muestra: Aceite
Identificación de la muestra: Aceite de Higuierilla
Descripción de la Muestra: Sin descripción específica
Fecha de ingreso de muestra: 29-03-2010
Código de la muestra: OE-10-03-15-P-1
Fecha de realización de ensayos: 29-03-2010/16-04-2010

DETERMINACION	UNIDADES	METODO	RESULTADO
Densidad API a 60°F	°API	ASTM D 287	15,6
Poder Calórico Bruto	kcal/kg	ASTM D 240	9530
Índice de Cetano calculado *		ASTM D 976	No determinado
Punto de vertido	°C	ASTM D 97	-34,4
Punto de inflamación*(1)	°C	ASTM D 92	282,2
Punto de ebullición*	°C	Método Interno	306
Punto de congelación	°C	ASTM D 938	-45,6
Punto de nube	°C	ASTM D 2500	-17,2
Viscosidad Cinemática* (2) a 37,8°C	cst	ASTM D 445	289,56
Índice de acidez	mgKOH/g Aceite	ASTM D 974	0,87

Condiciones Ambientales. - Presión: 545,0 mmHg, Temperatura: 20,3 °C
Observaciones: (1) Incertidumbre asociada a la medida del Punto de Inflamación U= ± 20°C (K=2)
 (2) Incertidumbre asociada a la medida de la Viscosidad Cinemática U= ± 64,02 cst (K=2)
 *Punto de ebullición medido a 543,8 mmHg
 *El Índice de Cetano no se puede determinar porque no se alcanza la temperatura media de ebullición del 50% en volumen del destilado, por el método de la destilación ASTM D86

Realizado Por: CEGE



ENSAYOS
 No OAE LE 2C 06-010

Los ensayos marcados con (*) están incluidos en el alcance de la acreditación del OAE.

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

Revisado Por:



Ing. Renán Criollo R., MSc
 RESPONSABLE TÉCNICO

Aprobado Por:

Ing. Andrés De La Rosa., MSc
 DIRECTOR DEL DPEC

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 104 Fax: 2529676 E-mail: dpec@fing.uce.edu.ec
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-4

Hoja 1 de 1

ANEXO C

PRUEBAS DE LABORATORIO
COLEGIO “HERMANO MIGUEL”.

LABORATORIO DE QUÍMICA

Resultados del análisis de la muestra de Biocombustible realizada en el laboratorio de Química de la Unidad Educativa Técnico Particular Hermano Miguel, luego del análisis realizado por vía húmeda se determina que:

Sustancia: Biocombustible

Aspecto: líquido de poca densidad

Color: blanco amarillento

Punto de ebullición: 84.56 grados centígrados.

Acidez y alcalinidad, pH: 9 con características alcalinas.

Densidad: 0.78 gramos / centímetro cúbico

Elementos esenciales constituyentes: carbono, hidrógeno, oxígeno, fósforo, azufre

Nota: Cabe señalar que: no es posible determinar en condiciones exactas las características tanto cualitativas como cuantitativas de la sustancia, por cuanto para este tipo de análisis se requieren de sustancias especiales tanto orgánicas como inorgánicas para las pruebas. Es por esto que no se entregan resultados con contenidos porcentuales, o análisis químicos más exactos.

Latacunga, 08 de Marzo del 2010



Dr. César O. Cruz G.

LABORATORIO DE QUÍMICA

Resultados del análisis de la muestra de aceite realizada en el laboratorio de Química de la Unidad Educativa Técnico Particular Hermano Miguel, luego del análisis realizado por vía húmeda se determina que:

Sustancia: aceite de higuera

Aspecto: denso aceitoso

Color: amarillento

Punto de ebullición: 61.6 grados centígrados.

Acidez y alcalinidad, pH: 6,3 con características de ácido con tendencia a neutro.

Densidad: 0.765 gramos / centímetro cúbico

Elementos esenciales constituyentes: carbono, hidrógeno, oxígeno, fósforo, azufre

Nota: Cabe señalar que: no es posible determinar en condiciones exactas las características tanto cualitativas como cuantitativas de la sustancia, por cuanto para este tipo de análisis se requieren de sustancias especiales tanto orgánicas como inorgánicas para las pruebas. Es por esto que no se entregan resultados con contenidos porcentuales, o análisis químicos más exactos.

Latacunga, 08 de Marzo del 2010



Dr. César O. Cruz G.

ANEXO D
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD.



(SAFETY DATA SHEET)

La presente Hoja de Seguridad se rige según la norma 2001/58/CEE, previniendo alguna modificación, realizada y revisada el 15/01/08, la que se basa en los siguientes componentes;

1. Identificación de la sustancia y la razón social

Aceite de Ricino o Castor Oil

Usos: para la fabricación de cosméticos, productos farmacéuticos, resinas, ceras, pinturas, lubricantes y un sinnúmero de aplicaciones en laboratorios e industrias.

Identificación de la Empresa: Specialoil S.A.

País: Ecuador, Provincia: Manabí

Dirección: Km. 4.5 vía Montecristi – Portoviejo, Estancia Las Palmas

TEL.: (593-5) 2612422 Oficina

(593) 97501965 - 94474820 Celulares

2. Información de los componentes

Composición química: Triglicéridos

Nº: 8001-79-4

Nombre y Nº de EINECS: 232-293-8

3. Identificación de los peligros

Inhalación: No peligroso

Contacto con la piel: No peligroso

Ingestión: No peligroso

Contacto con los ojos: No peligroso

Es necesario advertir las caídas por resbalón para el uso de zapatos antideslizantes.

4. Primeros Auxilios

No es necesario asistencia médica.

Contacto con la piel: lavar con abundante agua, enjabonar y enjuagar

Contacto con los ojos: Lavar con abundante agua

5. Medidas para combatir el fuego

Los medios de extinción recomendados: Extintor de CO₂ y el extintor de polvo químico.

Equipo especial de protección: llevar un dispositivo de protección respiratorio y un traje de protección conveniente.

6. Medidas a tomar en caso de derrame accidental

Precauciones individuales: ninguna precaución especial necesaria.

Precauciones para la protección del ambiente: no hay requisito especial de protección.

Los métodos en quehaceres domésticos: los derrames pequeños pueden absorberse con trapos o aserrín de madera, evacuados con el agua.

Los derrames más importantes pueden bombearse para su recuperación.

7. Manipulación y almacenamiento

Manipulación: ninguna precaución especial necesaria.

El almacenamiento: el recipiente debe quedar lleno y cerrado para evitar los excesos de oxidación.

Utilización(s) particular(s): no

8. Manejo/protección individual

No requiere equipo especial de protección.

Los límites de valores de exposición: ninguno.

Los tiempos de la exposición: ninguno.

9. Propiedades Físicas y Químicas

Información general:

- Aspecto: líquido
- Olor: característico a ricino
- Color: amarillo pálido

Información importante relativa a la salud, seguridad y ambiente:

- PH: neutro
- Temperatura de inflamación: sobre los 270°C
- Densidad relativa: 0.960 - 0.969 g/cm³
- Solubilidad: soluble en alcohol
- Viscosidad en 25° C: 120 poises

10. Estabilidad y Reactividad

El producto es estable en las condiciones normales.

Las condiciones para evitar cambios: evitar calentar a más de 60 °C en el uso cosmético.

11. Información toxicológica

No es un producto tóxico para aplicación cosmética y farmacéutica.

12. Información Ecológica

Toxicidad: débil

Movilidad: débil

Persistencia y Degradación: es un producto completamente **Biodegradable** pero rico en DBO.

13. Consideraciones relativas a la eliminación

Absorber el producto con papel, trapo o aserrín de madera.

Derrame en la naturaleza: prohibido

Incinerar de acuerdo con la regulación local

Embalajes estropeados: Observar regulación local.

14. Información relativa al transporte

No es producto peligroso

Transporte en canecas metálicas o tanqueros cisterna bajo las regulaciones de seguridad.

15. Información autorizada

Clasificación: No es producto peligroso, observar normas locales e internacionales.

Clase de peligro para el agua: No es peligroso para el agua.

16. Informaciones adicionales

La presente tarjeta de datos de seguridad completa la información técnica, pero no constituye una garantía en cuanto a las propiedades del producto y no da lugar a un informe legal contractual. Se da la información de buena fe, en base al estado presente del conocimiento del producto. Se llama la atención de los usuarios además en los posibles riesgos incurridos en cuanto el producto se use para otros fines de los que se hayan planteado.

ANEXO E

DATOS TÉCNICOS DEL METANOL.

Nombre (IUPAC) sistemático	
Otros nombres	Carbinol; Alcohol metílico; Alcohol de madera; Espíritu de madera.
Fórmula semidesarrollada	CH ₃ -OH
Fórmula molecular	CH ₄ O
Identificadores	
Número CAS	n/d
Propiedades físicas	
Estado de agregación	Líquido
Apariencia	Incoloro
Densidad	791,8 kg/m ³ ; 0.7918 g/cm ³
Masa molar	32.04 g/mol
Punto de fusión	176 K (-97,16 °C)
Punto de ebullición	337.8 K (64.7 °C)
Viscosidad	0.59 mPa·s a 20 °C.
Propiedades químicas	
Acidez (pK _a)	~ 15.5

Solubilidad en agua	Totalmente miscible.
---------------------	----------------------

ANEXO F

DATOS TÉCNICOS LUV D-MAX 2.5 TD

Motor	2.5 TD Cabina Simple 4x2
Alimentación	Bomba inyección directa de alta presión
Candados	NO
Desplazamiento (c.c.)	2.499
Diámetro de giro (m.)	5,9
Diámetro x Carrera	93 X 92
Dirección	Dirección Hidráulica de piñón y cremallera
Embrague	Al piso
Frenos De Parqueo	Palanca en panel de instrumentos
Frenos Delanteros	Discos ventilados pinzas 2 pistones
Frenos Posteriores	Tambores con zapatas contrapuestas
Llantas	225/70R15 106R
Nº Cilindros	4 en línea
Nº Válvulas	8
Potencia (HP@rpm)	79@3,900
Relación Compresión	18.5
Relaciones de transmisión 1º	4.122
Relaciones de transmisión 2º	2.493
Relaciones de transmisión 3º	1.504
Relaciones de transmisión 4º	1.000
Relaciones de transmisión 5º	0.855
Reversa	3.720
Rines	De acero 15x6,5
Susp. Delantera	Independiente, doble brazo resortes helicoidales
Susp. Posterior	Rígida con Ballesta
Torque Neto (Nm@rpm)	176 @ 2000
Transmisión Tipo	MSG-5K Manual 5 Vel.

ANEXO G
CERTIFICACIÓN CORPAIRE.



CORPORACIÓN PARA EL MEJORAMIENTO DEL AIRE DE QUITO

CERTIFICADO

La Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito; Certifica:

Que **PAOLA MARIELA PROAÑO MOLINA**, con cédula: 0503158529 ha realizado en la entidad pertinente el respectivo Protocolo de Pruebas, como parte fundamental de su tesis de grado cuyo tema es: “INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA, COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5 – 10%, EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL”, el mismo que determinó parámetros como:

- Potencia y torque del vehículo con diesel y mezclas diesel + aceite al 5 - 10%.
- Emisiones de gases y opacidad con diesel y mezclas diesel + aceite al 5 - 10%.

Debo manifestar que las pruebas se realizaron en una camioneta marca **CHEVROLET LUV – DMAX 2.5 TD**, el equipo utilizado fue:

- Dinamómetro de chasis marca MAHA, modelo LPS 3000
- Medidor de emisiones On Board marca Clean Air, modelo Montana OEM 2100.
- Opacímetro marca MAHA, modelo MDO 2 LON

Estos equipos cuentan con una calibración automática después de cada medición y se distinguen por su correcto funcionamiento, por lo mismo dejo constancia de la veracidad de los parámetros obtenidos.

Es todo cuanto puedo manifestar a petición de la interesada.

Ing. Jorge Kaslín

Coordinador de Inspección y Mantenimiento Vehicular

ANEXO H
ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA
DE INYECCIÓN.

Item	4JA1T	4JG2T
Injection pump type	Bosch Distributor	
Plunger outside diameter	mm (in)	11 (0.43)
Plunger prestroke	mm (in)	0.45 (0.0177) -
Governor type	Mechanical variable (Variable half speed)	
Timer type	Oil pressure	
Fuel feed pump type	Vane with input shaft	
Injection nozzle type	Hole type	Throttle type
Number of injection nozzle orifices	5	1
Injection nozzle orifices Inside diameter	mm (in)	0.21 (0.0083) 1 (0.04)
Injection nozzle opening	kg/cm ² (psi/kPa)	185 (2,631/18,130) 150 (2,133/14,710)
Main fuel filter type	Disposable cartridge paper element and water separator	

ANEXO I

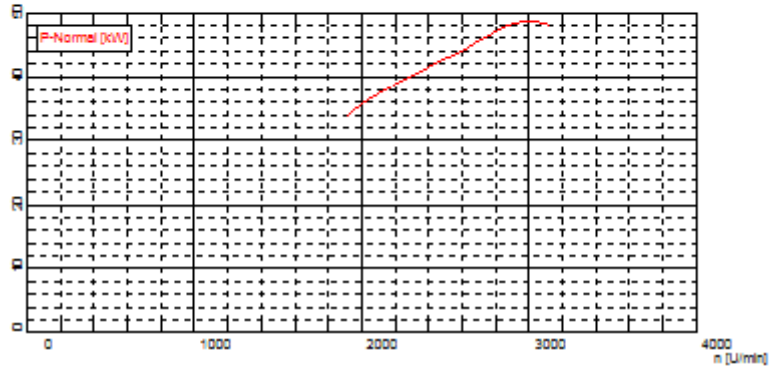
**DATOS OBTENIDOS EN LAS
PRUEBAS DE OPACIDAD EN
CORPAIRE (DIESEL).**



Número de serie ETN: CHEVROLET LUV D-MAX 2.5TD
 Matrícula del vehículo: FTF0973
 Cliente: ESPE
 Núm. de DNI: 12345
 Núm. de prueba: 20

Fecha de la medición: 24.02.2010

Prueba LUG-Down



Resultados de la medición de potencia	Especificación del fabricante	Evaluación
Potencia máxima del motor: 48,5 kW	52 kW	Correcto
Núm. de RPM a la potencia máxima del motor: 3000 U/min	3045 U/min	Correcto
Análisis de gases de humo a 100% de Vel@bit-P		Valor límite
Valor k:	0,03 m ³	1,61 m ³
Núm. de RPM :	2998 U/min	
Velocidad:	77,3 km/h	
Potencia de las ruedas :	15,1 kW	
Análisis de gases de humo a 80% de Vel@bit-P		Valor límite
Valor k:	0,02 m ³	1,61 m ³
Núm. de RPM :	2702 U/min	
Velocidad:	69,7 km/h	
Potencia de las ruedas :	4,6 kW	
Análisis de gases de humo a 60% de Vel@bit-P		Valor límite
Valor k:	0,01 m ³	1,61 m ³
Núm. de RPM :	2401 U/min	
Velocidad:	61,9 km/h	
Potencia de las ruedas :	3,7 kW	

Evaluación global

Prueba LUG-Down aprobada

ANEXO J

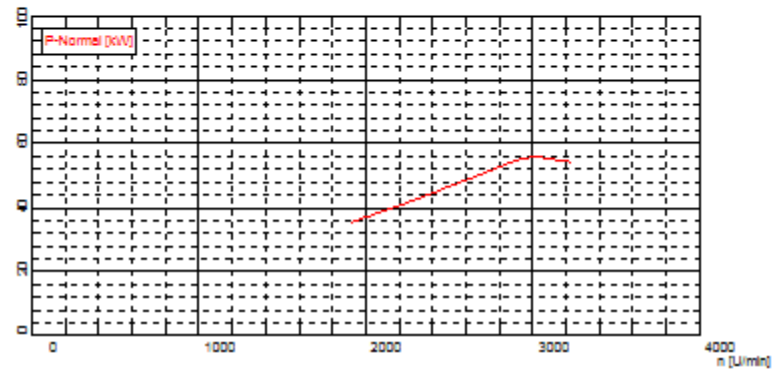
**DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE
OPACIDAD EN CORPAIRE (MEZCLA AL 5%).**



Número de serie ETN: CHEVROLET LUV D-MAX 2.5TD 2008
 Matrícula del vehículo: FTF0973
 Cliente: ESPE
 Núm. de DNI: 1234
 Núm. de prueba: 21

Fecha de la medición: 24.02.2010

Prueba LUG-Down



Resultados de la medición de potencia		Especificación del fabricante	Evaluación
Potencia máxima del motor:	55,7 kW	56 kW	Cumplido
Núm. de RPM a la potencia máxima del motor:	3020 U/min	2960 U/min	Cumplido
Análisis del gas de humo a 100% de Vel@b@-HP		Valor límite	Evaluación
Valor k:	0,05 m ⁻¹	1,61 m ⁻¹	Cumplido
Núm. de RPM :	3019 U/min		
Velocidad:	78,2 km/h		
Potencia de las ruedas :	20,9 kW		
Análisis del gas de humo a 90% de Vel@b@-HP		Valor límite	Evaluación
Valor k:	0,02 m ⁻¹	1,61 m ⁻¹	Cumplido
Núm. de RPM :	2719 U/min		
Velocidad:	70,4 km/h		
Potencia de las ruedas :	6,7 kW		
Análisis del gas de humo a 80% de Vel@b@-HP		Valor límite	Evaluación
Valor k:	0,01 m ⁻¹	1,61 m ⁻¹	Cumplido
Núm. de RPM :	2417 U/min		
Velocidad:	62,6 km/h		
Potencia de las ruedas :	7,1 kW		

Evaluación global

Prueba LUG-Down aprobada

ANEXO K

**DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE
OPACIDAD EN CORPAIRE (MEZCLA AL 10%).**

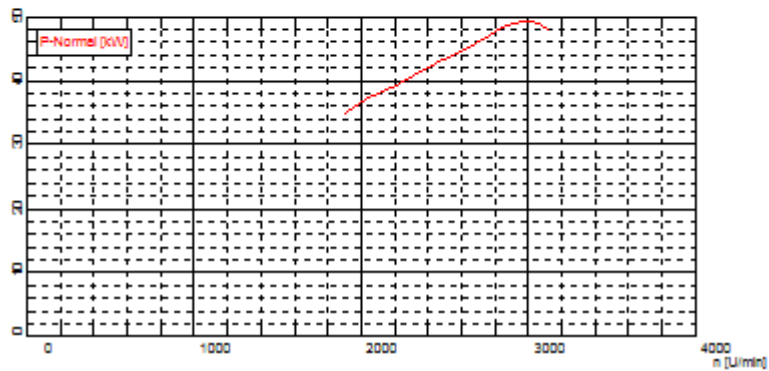


LPS 3000 LKOV

Número de serie ETN: CHEVROLET LUV D-MAX 2.5TD 2008
 Matrícula del vehículo: FTF0973
 Cliente: ESPE
 Núm. de DNI: 1234
 Núm. de prueba: 22

Fecha de la medición: 24.02.2010

Prueba LUG-Down



Resultados de la medición de potencia		Especificación del fabricante	Evaluación
Potencia máxima del motor:	49,2 kW	55 kW	Correcto
Núm. de RPM a la potencia máxima del motor:	3005 U/min	3020 U/min	Correcto
Análisis del gas de humo a 100% de Velómet-HP		Valor límite	Evaluación
Valor k:	0,14 m ⁻¹	1,51 m ⁻¹	Correcto
Núm. de RPM :	3002 U/min		
Velocidad:	77,9 km/h		
Potencia de las ruedas :	42,6 kW		
Análisis del gas de humo a 90% de Velómet-HP		Valor límite	Evaluación
Valor k:	0,02 m ⁻¹	1,51 m ⁻¹	Correcto
Núm. de RPM :	2702 U/min		
Velocidad:	70,1 km/h		
Potencia de las ruedas :	20,4 kW		
Análisis del gas de humo a 80% de Velómet-HP		Valor límite	Evaluación
Valor k:	0,02 m ⁻¹	1,51 m ⁻¹	Correcto
Núm. de RPM :	2403 U/min		
Velocidad:	62,3 km/h		
Potencia de las ruedas :	11,1 kW		

Evaluación global

Prueba LUG-Down aprobada

ANEXO L

**PODER CALORÍFICO DE VARIOS
COMBUSTIBLES (FAIRES)**

B 1 Calores específicos y constantes de gases a baja presión

Para cada sustancia, la constante específica de gas se calculó a partir de $R = 1\,545.32/M$ pie·lb/lb·°R y se da también su conversión a unidades SI. Valores instantáneos de C_p a la temperatura normal de 25°C (o bien 77°F) se obtuvieron de la información publicada, y de dichos valores se determinaron los demás, como sigue: $c_p = C_p/M$, $C_v = C_p - \bar{R}$, $\bar{R} = 1.986$ Btu/lbmol·°R, $k = C_p/C_v$, $c_v = c_p - \bar{R}$.

NOTAS. Un cierto número de valores ha sido actualizado, principalmente con datos de JANAF^[22], pero en la mayoría de los casos la variación no tiene importancia técnica: (a) Valores a 37.8°C (o bien, 100°F) tomados de Gas Tables de Keenan y Kaye. (b) El calor específico de todos los gases monoatómicos se considera $C = 4.97$ Btu/lbmol·°R. (c) Valores tomados de Rossini y cols.^[9,10,21]. (d) Valores provenientes de McBride y cols.^[22]. (e) De JANAF^[22].

Todas las masas moleculares se basaron en el valor de 32 para el O₂, pero no difieren mucho de los obtenidos con base en 12 para el C₁₂.

Los valores de c_p , c_v en kcal/kg·K son iguales a los expresados en Btu/lb·°R; asimismo, el valor de M en kg/gmol es igual al expresado en lb/lbmol.

Gas		M kg/gmol	c_p kcal/kg·K	c_v kcal/kg·K	C_p kJ/kg·K	C_v kJ/kg·K	$k = C_p/C_v$	\bar{R} lbf·pie/lb·°R	\bar{R} J/kg·K
Argón (Ar)	(b)	39.95	0.1244	0.0747	0.5216	0.3132	1.666	38.68	208.17
Helio (He)	(b)	4.003	1.241	0.745	5.2028	3.1233	1.666	386.04	2077.67
Mercurio (Hg)	(b)	200.61	0.0248	0.0148	0.1039	0.0624	1.666	7.703	41.45
Neón (Ne)	(b)	20.183	0.246	0.1476	1.0313	0.6188	1.666	76.57	412.10
Xenón (Xe)	(b)	131.30	0.0376	0.0227	0.1586	0.0952	1.666	11.77	63.34
Aire	(a)	28.970	0.24	0.1714	1.0062	0.7186	1.4	53.342	287.08
Monóxido de carbono (CO)		28.01	0.2487	0.1778	1.0426	0.7454	1.399	55.170	296.92
Cloro (Cl ₂)		70.914	0.1144	0.0664	0.4796	0.3622	1.324	21.791	117.28
Flúor (F ₂)	(d)	38.00	0.197	0.1447	0.8259	0.6056	1.36	40.67	219.88
Hidrógeno (H ₂)		2.016	3.419	2.434	14.2338	10.2043	1.40	766.54	4125.52
Hidroxilo (OH)	(a)	17.008	0.421	0.3031	1.7650	1.2708	1.383	90.858	486.99
Oxido nítrico (NO)		30.008	0.2378	0.1716	0.9969	0.7194	1.395	51.487	277.16
Nitrógeno (N ₂)		28.016	0.2484	0.1775	1.0414	0.7442	1.399	55.158	296.86
Oxígeno (O ₂)	(a)	32	0.2194	0.1573	0.9198	0.6595	1.395	48.291	259.90
Dióxido de carbono (CO ₂)		44.010	0.2016	0.1565	0.8452	0.6561	1.288	35.11	188.96
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	(a)	34.086	0.2397	0.1799	1.0049	0.7542	1.321	45.33	243.96
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	(a)	46.008	0.1921	0.1489	0.8054	0.6242	1.29	33.59	180.78
Oxido nítrico (N ₂ O)	(a)	44.016	0.2097	0.1646	0.8791	0.6901	1.274	35.11	188.96
Ozono (O ₃)	(a)	48	0.1954	0.154	0.8192	0.6456	1.269	32.194	173.27
Dióxido de azufre (SO ₂)	(a)	64.07	0.1487	0.1177	0.6234	0.4934	1.263	24.12	129.81
Vapor de agua (H ₂ O)	(a)	18.016	0.4484	0.3352	1.8673	1.4053	1.329	85.77	461.61
Acetileno (C ₂ H ₂)	(a)	26.036	0.4048	0.3286	1.6971	1.3772	1.232	59.35	319.42
Amoníaco (NH ₃)	(a)	17.032	0.499	0.382	2.0920	1.6015	1.304	80.73	489.31
n-Butano (C ₄ H ₁₀)		58.120	0.4007	0.3655	1.6799	1.5365	1.093	26.59	143.11
Cianógeno (C ₂ N ₂)	(a)	52.038	0.261	0.2228	1.0942	0.9341	1.172	29.7	159.84
Etano (C ₂ H ₆)		30.068	0.4186	0.3526	1.7549	1.4782	1.187	51.39	276.58
Etileno (C ₂ H ₄)	(a)	28.052	0.3854	0.2946	1.5319	1.2351	1.240	55.09	296.49
Hidrazina (N ₂ H ₄)	(a)	32.048	0.393	0.33	1.6476	1.3834	1.195	48.22	259.52
Peróxido de hidrógeno (H ₂ O ₂)	(a)	34.016	0.393	0.2446	1.2703	1.0225	1.239	45.43	244.50
Metano (CH ₄)	(a)	16.043	0.5099	0.3851	2.1377	1.6187	1.321	96.33	518.45
Metanol (CH ₃ O)	(c)	32.042	0.326	0.274	1.4086	1.1487	1.226	48.23	259.57
n-Octano (C ₈ H ₁₈)		114.224	0.3962	0.3778	1.6968	1.6839	1.046	13.53	72.82
Propano (C ₃ H ₈)		44.094	0.3985	0.3538	1.6707	1.4820	1.127	35.05	189.64

ANEXO M

**TABLA DE EXCEL CON LOS VALORES
DEL TORQUE Y RPM (DIESEL).**

n [rpm]	P-Normal [HP]	M-Normal [lb.ft]	P-Rueda [HP]	P-Arrastre [HP]
1900.00	48.510	134.092	36.619	7.433
1905.00	48.668	134.175	36.743	7.453
1910.00	48.826	134.257	36.866	7.472
1915.00	48.984	134.339	36.990	7.492
1920.00	49.141	134.421	37.114	7.511
1925.00	49.299	134.501	37.237	7.531
1930.00	49.454	134.576	37.359	7.550
1935.00	49.607	134.643	37.478	7.570
1940.00	49.755	134.696	37.593	7.589
1945.00	49.900	134.743	37.705	7.609
1950.00	50.044	134.785	37.816	7.629
1955.00	50.191	134.834	37.930	7.648
1960.00	50.341	134.891	38.041	7.673
1965.00	50.479	134.918	38.142	7.697
1970.00	50.618	134.946	38.244	7.722
1975.00	50.766	134.999	38.354	7.746
1980.00	50.909	135.036	38.459	7.771
1985.00	51.044	135.054	38.558	7.795
1990.00	51.171	135.049	38.651	7.817
1995.00	51.290	135.023	38.742	7.834
2000.00	51.413	135.008	38.833	7.854
2005.00	51.537	134.998	38.922	7.878
2010.00	51.656	134.972	39.006	7.902
2015.00	51.772	134.941	39.089	7.925
2020.00	51.884	134.896	39.173	7.942
2025.00	51.998	134.859	39.256	7.962
2030.00	52.116	134.833	39.339	7.987

2035.00	52.231	134.799	39.420	8.011
2040.00	52.345	134.761	39.500	8.034
2045.00	52.452	134.706	39.572	8.059
2050.00	52.560	134.654	39.646	8.083
2055.00	52.669	134.606	39.722	8.107
2060.00	52.778	134.556	39.796	8.131
2065.00	52.885	134.503	39.869	8.155
2070.00	52.992	134.449	39.942	8.180
2075.00	53.097	134.391	40.014	8.203
2080.00	53.192	134.310	40.085	8.219
2085.00	53.291	134.236	40.155	8.239
2090.00	53.390	134.164	40.221	8.263
2095.00	53.490	134.093	40.287	8.287
2100.00	53.593	134.031	40.356	8.311
2105.00	53.702	133.985	40.426	8.341
2110.00	53.806	133.928	40.491	8.371
2115.00	53.907	133.863	40.558	8.396
2120.00	54.010	133.802	40.627	8.420
2125.00	54.111	133.735	40.695	8.444
2130.00	54.207	133.658	40.758	8.468
2135.00	54.299	133.572	40.817	8.492
2140.00	54.387	133.477	40.874	8.516
2145.00	54.479	133.389	40.933	8.540
2150.00	54.574	133.312	40.996	8.563
2155.00	54.668	133.232	41.057	8.588
2160.00	54.762	133.150	41.118	8.612
2165.00	54.852	133.061	41.175	8.636
2170.00	54.939	132.967	41.231	8.660
2175.00	55.030	132.881	41.290	8.683
2180.00	55.123	132.800	41.351	8.707
2185.00	55.211	132.707	41.407	8.731

2190.00	55.292	132.599	41.461	8.751
2195.00	55.375	132.495	41.519	8.768
2200.00	55.470	132.422	41.579	8.794
2205.00	55.571	132.361	41.639	8.825
2210.00	55.665	132.284	41.699	8.850
2215.00	55.753	132.196	41.756	8.874
2220.00	55.839	132.100	41.809	8.898
2225.00	55.932	132.024	41.871	8.922
2230.00	56.029	131.957	41.935	8.945
2235.00	56.124	131.884	41.997	8.969
2240.00	56.216	131.804	42.058	8.992
2245.00	56.299	131.707	42.117	9.009
2250.00	56.384	131.611	42.175	9.028
2255.00	56.475	131.531	42.235	9.051
2260.00	56.568	131.456	42.295	9.074
2265.00	56.663	131.386	42.358	9.098
2270.00	56.754	131.308	42.422	9.116
2275.00	56.845	131.229	42.488	9.133
2280.00	56.943	131.167	42.555	9.155
2285.00	57.045	131.115	42.624	9.179
2290.00	57.149	131.068	42.696	9.202
2295.00	57.251	131.015	42.764	9.226
2300.00	57.349	130.954	42.829	9.250
2305.00	57.450	130.900	42.896	9.273
2310.00	57.557	130.861	42.970	9.297
2315.00	57.660	130.812	43.041	9.320
2320.00	57.758	130.750	43.106	9.344
2325.00	57.856	130.691	43.171	9.367
2330.00	57.956	130.636	43.238	9.391
2335.00	58.055	130.579	43.305	9.415
2340.00	58.153	130.519	43.369	9.438

2345.00	58.253	130.465	43.437	9.462
2350.00	58.364	130.436	43.510	9.490
2355.00	58.477	130.411	43.582	9.520
2360.00	58.579	130.362	43.649	9.546
2365.00	58.676	130.302	43.714	9.569
2370.00	58.767	130.228	43.773	9.592
2375.00	58.860	130.161	43.833	9.617
2380.00	58.967	130.124	43.899	9.648
2385.00	59.072	130.080	43.966	9.676
2390.00	59.168	130.021	44.031	9.699
2395.00	59.266	129.963	44.096	9.723
2400.00	59.366	129.911	44.163	9.747
2405.00	59.464	129.855	44.229	9.770
2410.00	59.554	129.783	44.288	9.793
2415.00	59.644	129.710	44.346	9.817
2420.00	59.735	129.637	44.404	9.840
2425.00	59.823	129.562	44.462	9.863
2430.00	59.910	129.484	44.515	9.889
2435.00	60.000	129.413	44.567	9.919
2440.00	60.089	129.338	44.620	9.946
2445.00	60.174	129.257	44.674	9.970
2450.00	60.263	129.183	44.726	9.999
2455.00	60.352	129.111	44.777	10.028
2460.00	60.431	129.017	44.824	10.053
2465.00	60.508	128.919	44.870	10.077
2470.00	60.595	128.844	44.919	10.107
2475.00	60.684	128.770	44.971	10.135
2480.00	60.762	128.677	45.018	10.159
2485.00	60.839	128.582	45.061	10.186
2490.00	60.921	128.496	45.106	10.216
2495.00	61.000	128.405	45.151	10.243

2500.00	61.075	128.305	45.196	10.266
2505.00	61.150	128.205	45.239	10.289
2510.00	61.226	128.109	45.284	10.313
2515.00	61.307	128.024	45.329	10.342
2520.00	61.390	127.944	45.375	10.371
2525.00	61.471	127.858	45.425	10.395
2530.00	61.551	127.772	45.474	10.418
2535.00	61.630	127.683	45.523	10.441
2540.00	61.708	127.594	45.571	10.464
2545.00	61.788	127.508	45.620	10.487
2550.00	61.873	127.433	45.670	10.514
2555.00	61.964	127.370	45.723	10.544
2560.00	62.051	127.301	45.777	10.569
2565.00	62.139	127.232	45.834	10.592
2570.00	62.236	127.184	45.894	10.620
2575.00	62.333	127.134	45.952	10.650
2580.00	62.420	127.066	46.007	10.674
2585.00	62.507	126.995	46.062	10.698
2590.00	62.612	126.964	46.127	10.729
2595.00	62.716	126.929	46.193	10.756
2600.00	62.813	126.881	46.258	10.780
2605.00	62.912	126.837	46.322	10.806
2610.00	63.019	126.810	46.389	10.835
2615.00	63.129	126.788	46.462	10.862
2620.00	63.234	126.757	46.532	10.885
2625.00	63.335	126.717	46.596	10.913
2630.00	63.440	126.686	46.661	10.943
2635.00	63.550	126.665	46.737	10.967
2640.00	63.661	126.645	46.815	10.990
2645.00	63.768	126.619	46.890	11.013
2650.00	63.874	126.589	46.962	11.036

2655.00	63.987	126.574	47.035	11.066
2660.00	64.100	126.560	47.110	11.093
2665.00	64.208	126.535	47.184	11.117
2670.00	64.313	126.504	47.256	11.140
2675.00	64.420	126.478	47.331	11.163
2680.00	64.539	126.475	47.413	11.188
2685.00	64.663	126.483	47.498	11.217
2690.00	64.780	126.477	47.577	11.244
2695.00	64.892	126.460	47.655	11.267
2700.00	65.012	126.459	47.737	11.294
2705.00	65.136	126.467	47.822	11.323
2710.00	65.260	126.473	47.908	11.348
2715.00	65.384	126.480	47.998	11.371
2720.00	65.514	126.499	48.089	11.399
2725.00	65.643	126.515	48.179	11.428
2730.00	65.767	126.522	48.269	11.453
2735.00	65.894	126.535	48.362	11.476
2740.00	66.029	126.562	48.455	11.505
2745.00	66.160	126.583	48.547	11.533
2750.00	66.285	126.592	48.637	11.556
2755.00	66.416	126.612	48.732	11.580
2760.00	66.561	126.658	48.834	11.609
2765.00	66.703	126.698	48.935	11.637
2770.00	66.834	126.719	49.032	11.660
2775.00	66.965	126.738	49.128	11.682
2780.00	67.096	126.758	49.225	11.705
2785.00	67.227	126.776	49.321	11.727
2790.00	67.356	126.792	49.415	11.750
2795.00	67.484	126.805	49.509	11.772
2800.00	67.608	126.811	49.599	11.795
2805.00	67.728	126.811	49.686	11.817

2810.00	67.850	126.813	49.775	11.839
2815.00	67.974	126.820	49.865	11.861
2820.00	68.094	126.817	49.952	11.884
2825.00	68.199	126.789	50.029	11.902
2830.00	68.300	126.751	50.105	11.917
2835.00	68.401	126.716	50.176	11.938
2840.00	68.503	126.681	50.247	11.961
2845.00	68.602	126.641	50.314	11.983
2850.00	68.699	126.598	50.380	12.006
2855.00	68.787	126.539	50.438	12.028
2860.00	68.874	126.477	50.494	12.050
2865.00	68.957	126.407	50.547	12.072
2870.00	69.037	126.335	50.598	12.095
2875.00	69.113	126.253	50.644	12.117
2880.00	69.186	126.167	50.689	12.139
2885.00	69.247	126.059	50.728	12.155
2890.00	69.307	125.951	50.766	12.171
2895.00	69.368	125.844	50.800	12.193
2900.00	69.427	125.734	50.832	12.214
2905.00	69.474	125.602	50.859	12.230
2910.00	69.519	125.468	50.885	12.245
2915.00	69.554	125.316	50.901	12.260
2920.00	69.584	125.155	50.914	12.274
2925.00	69.608	124.984	50.927	12.283
2930.00	69.634	124.816	50.940	12.293
2935.00	69.664	124.658	50.953	12.309
2940.00	69.692	124.497	50.965	12.322
2945.00	69.716	124.328	50.978	12.331
2950.00	69.757	124.191	50.991	12.355
2955.00	69.800	124.056	51.001	12.383
2960.00	69.838	123.913	51.008	12.411

2965.00	69.875	123.771	51.014	12.439
2970.00	69.913	123.630	51.020	12.468
2975.00	69.952	123.490	51.027	12.496
2980.00	69.989	123.349	51.033	12.524
2985.00	70.027	123.208	51.039	12.552
2990.00	70.059	123.058	51.039	12.580
2995.00	70.090	122.908	51.039	12.609
3000.00	70.121	122.758	51.039	12.637
3005.00	70.152	122.607	51.039	12.666
3010.00	70.179	122.451	51.035	12.694
3015.00	70.204	122.290	51.029	12.723
3020.00	70.224	122.124	51.019	12.751
3025.00	70.241	121.952	51.006	12.780
3030.00	70.256	121.775	50.990	12.808
3035.00	70.267	121.594	50.972	12.837
3040.00	70.275	121.408	50.950	12.866
3045.00	70.278	121.215	50.925	12.895
3050.00	70.278	121.015	50.895	12.923
3055.00	70.265	120.795	50.855	12.952
3060.00	70.250	120.572	50.812	12.981
3065.00	70.231	120.342	50.766	13.010
3070.00	70.211	120.112	50.719	13.039
3075.00	70.191	119.883	50.672	13.068
3080.00	70.170	119.653	50.624	13.097
3085.00	70.145	119.417	50.572	13.126
3090.00	70.118	119.176	50.518	13.156
3095.00	70.084	118.927	50.458	13.185
3100.00	70.049	118.675	50.397	13.214
3105.00	70.007	118.414	50.329	13.243
3110.00	69.966	118.154	50.263	13.273
3115.00	69.927	117.899	50.198	13.302

3120.00	69.888	117.644	50.133	13.332
3125.00	69.847	117.386	50.066	13.361
3130.00	69.806	117.130	49.999	13.391
3135.00	69.767	116.878	49.934	13.420
3140.00	69.729	116.628	49.870	13.450
3145.00	69.691	116.380	49.808	13.480
3150.00	69.655	116.134	49.746	13.509
3155.00	69.622	115.896	49.687	13.539
3160.00	69.591	115.661	49.628	13.569
3165.00	69.562	115.430	49.572	13.599
3170.00	69.533	115.201	49.516	13.629
3175.00	69.509	114.979	49.464	13.659
3180.00	69.487	114.762	49.414	13.689
3185.00	69.462	114.540	49.361	13.719
3190.00	69.433	114.313	49.305	13.749
3195.00	69.403	114.086	49.248	13.779
3200.00	69.373	113.857	49.190	13.809
3205.00	69.343	113.630	49.132	13.840
3210.00	69.314	113.406	49.076	13.870
3215.00	69.287	113.185	49.020	13.900
3220.00	69.263	112.971	48.969	13.931
3225.00	69.237	112.753	48.914	13.961
3230.00	69.201	112.520	48.851	13.992
3235.00	69.163	112.285	48.787	14.022
3240.00	69.126	112.051	48.722	14.053
3245.00	69.088	111.818	48.657	14.084
3250.00	69.038	111.564	48.581	14.114
3255.00	68.986	111.309	48.503	14.145
3260.00	68.932	111.051	48.423	14.176
3265.00	68.876	110.792	48.342	14.207
3270.00	68.810	110.516	48.250	14.238

3275.00	68.740	110.235	48.156	14.269
3280.00	68.661	109.940	48.053	14.300
3285.00	68.579	109.643	47.948	14.331
3290.00	68.496	109.343	47.841	14.362
3295.00	68.412	109.043	47.734	14.393
3300.00	68.332	108.751	47.630	14.424
3305.00	68.251	108.458	47.525	14.455
3310.00	68.163	108.154	47.414	14.487
3315.00	68.072	107.846	47.300	14.518
3320.00	67.981	107.540	47.186	14.549
3325.00	67.889	107.233	47.071	14.581
3330.00	67.786	106.909	46.946	14.612
			46.762	14.644

ANEXO N

**TABLA DE EXCEL CON LOS VALORES
DEL TORQUE Y RPM (5%).**

TABLA DE EXCEL CON LOS VALORES DEL TORQUE Y RPM (MEZCLA AL 5%)

n [rpm]	P-Normal [HP]	M-Normal [lb.ft]	P-Rueda [HP]	P-Arrastre [HP]
1855.00	38.867	110.041	27.580	7.737
1860.00	39.209	110.710	27.870	7.758
1865.00	39.550	111.376	28.160	7.779
1870.00	39.908	112.083	28.464	7.800
1875.00	40.303	112.890	28.802	7.820
1880.00	40.700	113.700	29.142	7.841
1885.00	41.118	114.561	29.500	7.862
1890.00	41.554	115.471	29.876	7.883
1895.00	41.993	116.383	30.254	7.904
1900.00	42.497	117.469	30.691	7.925
1905.00	43.003	118.555	31.130	7.946
1910.00	43.524	119.679	31.583	7.966
1915.00	44.057	120.828	32.046	7.987
1920.00	44.621	122.056	32.538	8.008
1925.00	45.191	123.293	33.035	8.029
1930.00	45.747	124.486	33.519	8.051
1935.00	46.304	125.678	34.001	8.075
1940.00	46.864	126.870	34.482	8.103
1945.00	47.417	128.037	34.953	8.135
1950.00	47.949	129.140	35.407	8.164
1955.00	48.455	130.170	35.841	8.190
1960.00	48.923	131.093	36.234	8.222
1965.00	49.363	131.934	36.602	8.253
1970.00	49.763	132.665	36.940	8.279
1975.00	50.143	133.340	37.257	8.308
1980.00	50.514	133.988	37.561	8.341
1985.00	50.862	134.572	37.850	8.368

1990.00	51.173	135.054	38.108	8.393
1995.00	51.463	135.480	38.346	8.418
2000.00	51.739	135.866	38.575	8.440
2005.00	51.996	136.200	38.790	8.458
2010.00	52.232	136.478	38.983	8.480
2015.00	52.467	136.750	39.171	8.505
2020.00	52.690	136.992	39.356	8.523
2025.00	52.900	137.198	39.527	8.542
2030.00	53.106	137.394	39.691	8.566
2035.00	53.297	137.549	39.839	8.591
2040.00	53.478	137.678	39.979	8.616
2045.00	53.644	137.769	40.110	8.636
2050.00	53.808	137.852	40.241	8.654
2055.00	53.978	137.950	40.371	8.678
2060.00	54.140	138.030	40.493	8.703
2065.00	54.296	138.093	40.610	8.728
2070.00	54.438	138.119	40.718	8.749
2075.00	54.574	138.130	40.825	8.766
2080.00	54.715	138.153	40.929	8.789
2085.00	54.844	138.148	41.023	8.813
2090.00	54.966	138.123	41.116	8.831
2095.00	55.089	138.103	41.208	8.851
2100.00	55.216	138.092	41.299	8.875
2105.00	55.341	138.076	41.388	8.900
2110.00	55.464	138.053	41.474	8.925
2115.00	55.584	138.026	41.559	8.950
2120.00	55.702	137.992	41.641	8.975
2125.00	55.819	137.957	41.722	9.000
2130.00	55.939	137.930	41.807	9.025
2135.00	56.056	137.894	41.888	9.050
2140.00	56.165	137.839	41.962	9.074

2145.00	56.276	137.789	42.038	9.099
2150.00	56.389	137.745	42.116	9.124
2155.00	56.504	137.707	42.196	9.149
2160.00	56.621	137.671	42.277	9.174
2165.00	56.735	137.630	42.356	9.199
2170.00	56.848	137.587	42.434	9.224
2175.00	56.967	137.559	42.512	9.254
2180.00	57.088	137.534	42.590	9.285
2185.00	57.203	137.495	42.668	9.311
2190.00	57.315	137.451	42.746	9.335
2195.00	57.425	137.401	42.821	9.360
2200.00	57.535	137.351	42.896	9.385
2205.00	57.645	137.301	42.971	9.410
2210.00	57.755	137.252	43.046	9.435
2215.00	57.867	137.209	43.124	9.459
2220.00	57.982	137.170	43.203	9.484
2225.00	58.100	137.142	43.285	9.510
2230.00	58.225	137.129	43.367	9.541
2235.00	58.348	137.110	43.448	9.571
2240.00	58.464	137.076	43.529	9.596
2245.00	58.578	137.037	43.608	9.620
2250.00	58.695	137.007	43.690	9.645
2255.00	58.819	136.992	43.778	9.669
2260.00	58.942	136.974	43.866	9.694
2265.00	59.064	136.953	43.951	9.719
2270.00	59.186	136.934	44.037	9.743
2275.00	59.309	136.918	44.126	9.767
2280.00	59.435	136.907	44.216	9.792
2285.00	59.563	136.902	44.308	9.817
2290.00	59.692	136.900	44.401	9.841
2295.00	59.824	136.903	44.496	9.866

2300.00	59.961	136.919	44.590	9.896
2305.00	60.096	136.928	44.682	9.926
2310.00	60.227	136.930	44.775	9.952
2315.00	60.361	136.939	44.871	9.979
2320.00	60.501	136.960	44.966	10.011
2325.00	60.637	136.972	45.061	10.039
2330.00	60.767	136.973	45.156	10.063
2335.00	60.901	136.980	45.248	10.093
2340.00	61.037	136.993	45.339	10.124
2345.00	61.167	136.991	45.431	10.150
2350.00	61.297	136.992	45.526	10.175
2355.00	61.437	137.011	45.628	10.199
2360.00	61.572	137.023	45.727	10.223
2365.00	61.700	137.018	45.819	10.247
2370.00	61.829	137.015	45.912	10.271
2375.00	61.961	137.017	46.008	10.296
2380.00	62.093	137.022	46.104	10.320
2385.00	62.229	137.033	46.202	10.345
2390.00	62.369	137.055	46.300	10.375
2395.00	62.508	137.073	46.396	10.405
2400.00	62.638	137.072	46.489	10.430
2405.00	62.763	137.060	46.578	10.455
2410.00	62.887	137.046	46.666	10.479
2415.00	63.012	137.032	46.755	10.503
2420.00	63.136	137.019	46.844	10.527
2425.00	63.260	137.005	46.932	10.551
2430.00	63.381	136.986	47.019	10.576
2435.00	63.498	136.957	47.100	10.600
2440.00	63.615	136.927	47.182	10.624
2445.00	63.731	136.896	47.264	10.648
2450.00	63.844	136.859	47.341	10.673

2455.00	63.957	136.823	47.414	10.703
2460.00	64.073	136.792	47.490	10.733
2465.00	64.190	136.764	47.572	10.758
2470.00	64.306	136.733	47.649	10.785
2475.00	64.419	136.698	47.722	10.816
2480.00	64.534	136.665	47.795	10.848
2485.00	64.650	136.636	47.870	10.878
2490.00	64.766	136.606	47.944	10.910
2495.00	64.879	136.571	48.016	10.941
2500.00	64.986	136.521	48.087	10.966
2505.00	65.090	136.466	48.157	10.991
2510.00	65.203	136.432	48.230	11.021
2515.00	65.322	136.408	48.307	11.051
2520.00	65.434	136.372	48.386	11.075
2525.00	65.544	136.330	48.462	11.099
2530.00	65.655	136.291	48.538	11.123
2535.00	65.768	136.257	48.617	11.147
2540.00	65.882	136.225	48.697	11.171
2545.00	65.998	136.196	48.779	11.194
2550.00	66.115	136.170	48.861	11.218
2555.00	66.234	136.149	48.946	11.242
2560.00	66.355	136.131	49.031	11.266
2565.00	66.476	136.112	49.117	11.290
2570.00	66.597	136.095	49.203	11.315
2575.00	66.728	136.099	49.292	11.344
2580.00	66.867	136.116	49.387	11.374
2585.00	66.997	136.119	49.481	11.398
2590.00	67.125	136.115	49.572	11.422
2595.00	67.252	136.109	49.664	11.446
2600.00	67.375	136.096	49.749	11.473
2605.00	67.503	136.094	49.835	11.503

2610.00	67.636	136.100	49.929	11.530
2615.00	67.766	136.100	50.023	11.554
2620.00	67.892	136.093	50.114	11.578
2625.00	68.015	136.081	50.202	11.601
2630.00	68.145	136.081	50.291	11.631
2635.00	68.276	136.085	50.380	11.662
2640.00	68.405	136.084	50.472	11.687
2645.00	68.536	136.086	50.567	11.710
2650.00	68.665	136.085	50.660	11.734
2655.00	68.793	136.082	50.752	11.759
2660.00	68.927	136.090	50.843	11.789
2665.00	69.056	136.089	50.932	11.818
2670.00	69.180	136.078	51.020	11.842
2675.00	69.300	136.060	51.105	11.866
2680.00	69.422	136.045	51.193	11.889
2685.00	69.555	136.052	51.291	11.913
2690.00	69.692	136.066	51.392	11.937
2695.00	69.826	136.075	51.490	11.960
2700.00	69.959	136.082	51.588	11.983
2705.00	70.090	136.086	51.684	12.006
2710.00	70.220	136.086	51.779	12.030
2715.00	70.350	136.086	51.878	12.049
2720.00	70.484	136.096	51.983	12.065
2725.00	70.619	136.105	52.089	12.082
2730.00	70.752	136.111	52.193	12.098
2735.00	70.891	136.130	52.297	12.120
2740.00	71.035	136.158	52.403	12.146
2745.00	71.183	136.194	52.510	12.174
2750.00	71.338	136.241	52.622	12.203
2755.00	71.497	136.297	52.738	12.231
2760.00	71.654	136.348	52.851	12.260

2765.00	71.806	136.392	52.962	12.288
2770.00	71.959	136.435	53.072	12.317
2775.00	72.112	136.478	53.182	12.346
2780.00	72.265	136.521	53.292	12.375
2785.00	72.422	136.573	53.406	12.403
2790.00	72.577	136.621	53.518	12.432
2795.00	72.723	136.651	53.622	12.461
2800.00	72.866	136.675	53.724	12.490
2805.00	73.009	136.699	53.825	12.519
2810.00	73.153	136.724	53.926	12.548
2815.00	73.292	136.741	54.024	12.577
2820.00	73.429	136.754	54.119	12.606
2825.00	73.564	136.762	54.212	12.636
2830.00	73.696	136.767	54.304	12.665
2835.00	73.823	136.761	54.390	12.694
2840.00	73.946	136.746	54.472	12.723
2845.00	74.063	136.723	54.549	12.753
2850.00	74.177	136.693	54.623	12.782
2855.00	74.282	136.647	54.689	12.812
2860.00	74.382	136.591	54.750	12.841
2865.00	74.473	136.520	54.803	12.871
2870.00	74.560	136.442	54.853	12.900
2875.00	74.641	136.352	54.897	12.930
2880.00	74.718	136.255	54.937	12.960
2885.00	74.785	136.142	54.968	12.990
2890.00	74.849	136.021	54.996	13.019
2895.00	74.897	135.874	55.010	13.049
2900.00	74.946	135.728	55.023	13.079
2905.00	74.994	135.582	55.038	13.109
2910.00	75.039	135.430	55.048	13.139
2915.00	75.073	135.258	55.049	13.169

2920.00	75.104	135.083	55.047	13.199
2925.00	75.130	134.899	55.041	13.229
2930.00	75.153	134.710	55.031	13.259
2935.00	75.172	134.514	55.018	13.290
2940.00	75.188	134.314	55.003	13.320
2945.00	75.199	134.105	54.982	13.350
2950.00	75.210	133.898	54.962	13.381
2955.00	75.221	133.691	54.941	13.411
2960.00	75.226	133.475	54.916	13.442
2965.00	75.224	133.246	54.884	13.472
2970.00	75.221	133.017	54.850	13.503
2975.00	75.218	132.786	54.816	13.533
2980.00	75.212	132.553	54.780	13.564
2985.00	75.202	132.314	54.741	13.595
2990.00	75.193	132.077	54.702	13.626
2995.00	75.183	131.840	54.662	13.656
3000.00	75.172	131.599	54.621	13.687
3005.00	75.153	131.348	54.573	13.718
3010.00	75.130	131.090	54.521	13.749
3015.00	75.100	130.820	54.463	13.780
3020.00	75.066	130.545	54.401	13.811
3025.00	75.026	130.259	54.333	13.842
3030.00	74.982	129.968	54.262	13.874
3035.00	74.931	129.665	54.184	13.905
3040.00	74.877	129.359	54.104	13.936
3045.00	74.822	129.052	54.023	13.967
3050.00	74.767	128.744	53.941	13.999
3055.00	74.711	128.438	53.859	14.030
3060.00	74.654	128.130	53.776	14.062
3065.00	74.595	127.820	53.690	14.093
3070.00	74.537	127.514	53.607	14.125

3075.00	74.482	127.212	53.525	14.157
3080.00	74.430	126.916	53.446	14.188
3085.00	74.381	126.628	53.370	14.220
3090.00	74.331	126.338	53.293	14.252
3095.00	74.278	126.044	53.214	14.284
3100.00	74.227	125.754	53.136	14.316
3105.00	74.178	125.469	53.060	14.348
3110.00	74.130	125.186	52.984	14.380
3115.00	74.082	124.903	52.908	14.412
3120.00	74.034	124.623	52.833	14.444
3125.00	73.990	124.349	52.760	14.476
3130.00	73.944	124.074	52.687	14.508
			52.609	14.540

ANEXO O

**TABLA DE EXCEL CON LOS VALORES
DEL TORQUE Y RPM (10%).**

TABLA DE EXCEL CON LOS VALORES DEL TORQUE Y RPM (MEZCLA AL 10%)

n [rpm]	P-Normal [HP]	M-Normal [lb.ft]	P-Rueda [HP]	P-Arrastre [HP]
1890.00	40.549	112.677	28.890	7.976
1895.00	40.972	113.554	29.254	7.997
1900.00	41.396	114.426	29.618	8.018
1905.00	41.820	115.296	29.983	8.039
1910.00	42.245	116.161	30.347	8.060
1915.00	42.670	117.023	30.712	8.081
1920.00	43.095	117.882	31.078	8.103
1925.00	43.521	118.737	31.443	8.124
1930.00	43.946	119.587	31.809	8.145
1935.00	44.375	120.443	32.178	8.166
1940.00	44.819	121.334	32.560	8.187
1945.00	45.269	122.237	32.948	8.208
1950.00	45.733	123.173	33.349	8.229
1955.00	46.199	124.110	33.751	8.250
1960.00	46.656	125.017	34.145	8.271
1965.00	47.117	125.931	34.542	8.294
1970.00	47.597	126.892	34.954	8.319
1975.00	48.067	127.819	35.356	8.343
1980.00	48.524	128.710	35.747	8.368
1985.00	48.990	129.618	36.140	8.398
1990.00	49.442	130.487	36.523	8.428
1995.00	49.871	131.289	36.888	8.452
2000.00	50.266	131.997	37.223	8.476
2005.00	50.635	132.635	37.535	8.500
2010.00	50.988	133.228	37.830	8.527
2015.00	51.325	133.773	38.104	8.559
2020.00	51.641	134.265	38.365	8.585

2025.00	51.935	134.696	38.608	8.609
2030.00	52.202	135.055	38.827	8.633
2035.00	52.453	135.371	39.032	8.657
2040.00	52.687	135.643	39.221	8.680
2045.00	52.908	135.877	39.398	8.704
2050.00	53.122	136.094	39.568	8.729
2055.00	53.332	136.299	39.732	8.756
2060.00	53.532	136.479	39.883	8.787
2065.00	53.718	136.623	40.025	8.814
2070.00	53.890	136.728	40.158	8.838
2075.00	54.054	136.813	40.283	8.861
2080.00	54.212	136.885	40.403	8.885
2085.00	54.366	136.943	40.519	8.909
2090.00	54.508	136.974	40.625	8.933
2095.00	54.643	136.986	40.725	8.956
2100.00	54.771	136.977	40.816	8.980
2105.00	54.899	136.972	40.909	9.004
2110.00	55.029	136.972	41.004	9.028
2115.00	55.148	136.943	41.088	9.051
2120.00	55.263	136.905	41.169	9.075
2125.00	55.383	136.880	41.254	9.099
2130.00	55.502	136.853	41.339	9.123
2135.00	55.615	136.809	41.418	9.146
2140.00	55.721	136.748	41.496	9.164
2145.00	55.822	136.678	41.571	9.181
2150.00	55.930	136.623	41.647	9.203
2155.00	56.040	136.574	41.723	9.227
2160.00	56.152	136.532	41.802	9.251
2165.00	56.259	136.477	41.877	9.273
2170.00	56.352	136.386	41.946	9.290
2175.00	56.447	136.302	42.014	9.309

2180.00	56.548	136.232	42.082	9.331
2185.00	56.655	136.177	42.156	9.355
2190.00	56.762	136.124	42.230	9.379
2195.00	56.862	136.052	42.297	9.402
2200.00	56.961	135.981	42.364	9.426
2205.00	57.067	135.923	42.436	9.450
2210.00	57.172	135.866	42.509	9.473
2215.00	57.278	135.810	42.581	9.496
2220.00	57.384	135.757	42.654	9.521
2225.00	57.496	135.714	42.726	9.549
2230.00	57.606	135.670	42.797	9.579
2235.00	57.710	135.611	42.867	9.604
2240.00	57.820	135.565	42.941	9.629
2245.00	57.937	135.538	43.018	9.659
2250.00	58.053	135.508	43.095	9.688
2255.00	58.163	135.464	43.172	9.711
2260.00	58.278	135.431	43.251	9.737
2265.00	58.399	135.413	43.331	9.767
2270.00	58.524	135.404	43.414	9.797
2275.00	58.650	135.397	43.498	9.828
2280.00	58.771	135.379	43.581	9.855
2285.00	58.890	135.356	43.666	9.879
2290.00	59.016	135.350	43.753	9.906
2295.00	59.146	135.351	43.839	9.937
2300.00	59.271	135.342	43.923	9.968
2305.00	59.398	135.338	44.009	9.997
2310.00	59.524	135.332	44.099	10.022
2315.00	59.650	135.326	44.189	10.046
2320.00	59.781	135.331	44.280	10.075
2325.00	59.914	135.340	44.370	10.105
2330.00	60.047	135.349	44.461	10.135

2335.00	60.180	135.358	44.553	10.164
2340.00	60.309	135.360	44.647	10.188
2345.00	60.436	135.355	44.739	10.211
2350.00	60.561	135.345	44.830	10.234
2355.00	60.686	135.337	44.918	10.260
2360.00	60.814	135.336	45.005	10.289
2365.00	60.943	135.336	45.094	10.317
2370.00	61.069	135.329	45.185	10.341
2375.00	61.192	135.316	45.273	10.365
2380.00	61.313	135.300	45.361	10.388
2385.00	61.441	135.297	45.450	10.415
2390.00	61.574	135.306	45.540	10.445
2395.00	61.702	135.304	45.631	10.471
2400.00	61.827	135.296	45.721	10.494
2405.00	61.951	135.287	45.812	10.517
2410.00	62.076	135.278	45.902	10.539
2415.00	62.197	135.260	45.984	10.567
2420.00	62.318	135.244	46.065	10.597
2425.00	62.437	135.223	46.148	10.622
2430.00	62.555	135.199	46.231	10.646
2435.00	62.675	135.181	46.312	10.674
2440.00	62.796	135.165	46.393	10.704
2445.00	62.914	135.141	46.476	10.728
2450.00	63.030	135.115	46.558	10.751
2455.00	63.146	135.086	46.633	10.780
2460.00	63.261	135.058	46.707	10.810
2465.00	63.375	135.028	46.781	10.840
2470.00	63.488	134.994	46.853	10.870
2475.00	63.595	134.950	46.921	10.900
2480.00	63.701	134.902	46.989	10.929
2485.00	63.807	134.854	47.062	10.952

2490.00	63.914	134.809	47.134	10.977
2495.00	64.018	134.758	47.200	11.005
2500.00	64.120	134.701	47.264	11.033
2505.00	64.213	134.628	47.326	11.057
2510.00	64.306	134.555	47.386	11.082
2515.00	64.409	134.502	47.450	11.111
2520.00	64.512	134.451	47.514	11.140
2525.00	64.616	134.401	47.579	11.170
2530.00	64.718	134.347	47.644	11.198
2535.00	64.817	134.287	47.711	11.221
2540.00	64.920	134.235	47.779	11.246
2545.00	65.027	134.192	47.848	11.275
2550.00	65.133	134.146	47.916	11.302
2555.00	65.236	134.097	47.987	11.326
2560.00	65.346	134.061	48.062	11.351
2565.00	65.462	134.037	48.138	11.380
2570.00	65.584	134.024	48.219	11.410
2575.00	65.704	134.010	48.299	11.439
2580.00	65.820	133.986	48.378	11.466
2585.00	65.931	133.953	48.456	11.489
2590.00	66.047	133.929	48.536	11.514
2595.00	66.168	133.916	48.617	11.543
2600.00	66.285	133.893	48.696	11.570
2605.00	66.395	133.860	48.774	11.593
2610.00	66.511	133.836	48.854	11.618
2615.00	66.633	133.824	48.934	11.648
2620.00	66.755	133.815	49.016	11.677
2625.00	66.879	133.808	49.100	11.706
2630.00	67.001	133.797	49.185	11.733
2635.00	67.122	133.784	49.272	11.755
2640.00	67.244	133.774	49.358	11.781

2645.00	67.366	133.764	49.440	11.809
2650.00	67.486	133.747	49.521	11.837
2655.00	67.602	133.726	49.604	11.859
2660.00	67.719	133.706	49.689	11.882
2665.00	67.838	133.690	49.774	11.904
2670.00	67.958	133.676	49.861	11.927
2675.00	68.082	133.668	49.951	11.950
2680.00	68.209	133.668	50.044	11.972
2685.00	68.336	133.667	50.138	11.994
2690.00	68.463	133.667	50.231	12.017
2695.00	68.591	133.668	50.325	12.039
2700.00	68.721	133.675	50.421	12.062
2705.00	68.852	133.682	50.517	12.085
2710.00	68.986	133.693	50.616	12.107
2715.00	69.120	133.706	50.715	12.129
2720.00	69.254	133.719	50.817	12.150
2725.00	69.384	133.725	50.919	12.166
2730.00	69.514	133.730	51.021	12.182
2735.00	69.644	133.735	51.123	12.198
2740.00	69.776	133.744	51.227	12.214
2745.00	69.911	133.760	51.335	12.230
2750.00	70.049	133.780	51.442	12.248
2755.00	70.196	133.817	51.547	12.276
2760.00	70.342	133.852	51.652	12.304
2765.00	70.496	133.902	51.763	12.333
2770.00	70.653	133.958	51.877	12.361
2775.00	70.809	134.013	51.991	12.390
2780.00	70.966	134.068	52.105	12.419
2785.00	71.122	134.123	52.219	12.447
2790.00	71.279	134.178	52.333	12.476
2795.00	71.436	134.233	52.447	12.505

2800.00	71.591	134.284	52.559	12.534
2805.00	71.746	134.334	52.671	12.562
2810.00	71.901	134.385	52.783	12.591
2815.00	72.056	134.435	52.895	12.620
2820.00	72.211	134.486	53.007	12.649
2825.00	72.366	134.536	53.119	12.678
2830.00	72.516	134.576	53.227	12.707
2835.00	72.662	134.609	53.330	12.736
2840.00	72.806	134.638	53.432	12.765
2845.00	72.949	134.665	53.532	12.795
2850.00	73.086	134.682	53.628	12.824
2855.00	73.218	134.688	53.718	12.853
2860.00	73.348	134.692	53.807	12.883
2865.00	73.476	134.692	53.895	12.912
2870.00	73.601	134.687	53.979	12.941
2875.00	73.722	134.673	54.060	12.971
2880.00	73.840	134.655	54.137	13.000
2885.00	73.954	134.628	54.211	13.030
2890.00	74.064	134.594	54.281	13.060
2895.00	74.167	134.550	54.346	13.089
2900.00	74.272	134.508	54.411	13.119
2905.00	74.378	134.468	54.478	13.149
2910.00	74.479	134.419	54.540	13.178
2915.00	74.569	134.352	54.592	13.208
2920.00	74.657	134.279	54.642	13.238
2925.00	74.740	134.199	54.688	13.268
2930.00	74.822	134.116	54.732	13.298
2935.00	74.899	134.026	54.772	13.328
2940.00	74.972	133.929	54.809	13.358
2945.00	75.036	133.815	54.837	13.388
2950.00	75.096	133.695	54.861	13.419

2955.00	75.145	133.556	54.875	13.449
2960.00	75.192	133.413	54.887	13.479
2965.00	75.233	133.262	54.895	13.509
2970.00	75.271	133.105	54.899	13.540
2975.00	75.300	132.931	54.894	13.570
2980.00	75.325	132.753	54.887	13.601
2985.00	75.345	132.565	54.874	13.631
2990.00	75.363	132.375	54.859	13.662
2995.00	75.376	132.178	54.841	13.692
3000.00	75.388	131.978	54.821	13.723
3005.00	75.393	131.768	54.795	13.754
3010.00	75.398	131.557	54.768	13.784
3015.00	75.402	131.346	54.742	13.815
3020.00	75.406	131.135	54.714	13.846
3025.00	75.405	130.918	54.683	13.877
3030.00	75.404	130.699	54.651	13.908
3035.00	75.396	130.471	54.613	13.939
3040.00	75.389	130.243	54.574	13.970
3045.00	75.385	130.023	54.540	14.001
3050.00	75.384	129.807	54.508	14.032
3055.00	75.379	129.586	54.472	14.063
3060.00	75.372	129.363	54.435	14.095
3065.00	75.357	129.126	54.390	14.126
3070.00	75.335	128.877	54.338	14.157
3075.00	75.308	128.622	54.282	14.189
3080.00	75.276	128.359	54.222	14.220
3085.00	75.240	128.090	54.158	14.252
3090.00	75.201	127.816	54.091	14.283
3095.00	75.158	127.537	54.021	14.315
3100.00	75.112	127.253	53.947	14.347
3105.00	75.062	126.964	53.870	14.378

3110.00	75.009	126.670	53.790	14.410
3115.00	74.952	126.370	53.707	14.442
3120.00	74.891	126.065	53.619	14.474
3125.00	74.834	125.768	53.536	14.506
3130.00	74.781	125.477	53.455	14.538
3135.00	74.722	125.179	53.370	14.570
3140.00	74.658	124.872	53.279	14.602
3145.00	74.602	124.580	53.196	14.634
3150.00	74.552	124.299	53.119	14.666
3155.00	74.499	124.014	53.038	14.698
3160.00	74.442	123.723	52.954	14.731
3165.00	74.384	123.432	52.869	14.763
			52.782	14.795

ANEXO P

ARTÍCULO

INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5-10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL.

Ing. Paola Mariela Proaño M. AUTOR¹

Ing. Luis Mena AUTOR²,

Ing. Germán Erazo. AUTOR³,

1Dept. of Mechanique Automotive Eng. Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Quijano y Ordóñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador,

Email : paoly822@gmail.com

2Dept. of Mechanique Automotive Eng. Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Quijano y Ordóñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador,

Email : lamena@espe.edu.ec.

3Dept. of Mechanique Automotive Eng. Escuela Politécnica del Ejército Sede Latacunga, Quijano y Ordóñez y Márquez de Maenza S/N Latacunga, Ecuador,

Email : wgerazo@espe.edu.ec.

Resumen.

El proyecto tiene por objetivo el investigar la utilización del aceite de higuera como combustible alternativo en motores diesel con bomba de inyección convencional, el que nos permite conocer el desempeño y rendimiento del vehículo mediante mezclas con diesel. Este proyecto genera un estudio de los distintos parámetros del automóvil a diferente régimen como potencia, torque, consumo y emisiones contaminantes.

I. INTRODUCCIÓN.

La preocupación general por el carácter no renovable de los combustibles fósiles y la alta participación del sector transporte en el consumo total de energía primaria y en la contaminación atmosférica urbana; se han convertido en las fuerzas que están impulsando esta investigación sobre opciones

vegetales aplicables en la industria automotriz; dado a que actualmente se está dando mucha importancia a este tipo de recursos y no sólo en la industria automotriz, contando con vastas aplicaciones.

El aceite de ricino gracias a su componente principal el ácido ricinoléico, constituye una buena alternativa para sustituir al diesel, al líquido de frenos tradicional; actuando también como lubricante, gracias a su naturaleza química siendo el único aceite que tiene un grupo OH en su estructura, siendo además uno de los cultivos más tradicionales de uso industrial, más no alimentario. Esto reduce prácticamente el impacto al sector alimenticio, contrario con lo que sucede con el maíz y soja siendo uno de los alimentos de mayor consumo a nivel mundial.

El crear un aceite que sustituya a aquellos derivados de petróleo que se usan normalmente, busca reducir las emisiones contaminantes del vehículo, factor que desde siempre ha estado afectando nuestro medio ambiente; una evidencia de esto es la reducción de la capa atmosférica. Esto sin desmerecer a quien conducirá el auto, que en este caso brinda soluciones extras para el funcionamiento óptimo del vehículo.



Figura 1. Semillas en mal estado.

En parte estas metas no se llegan a cumplir por diferentes motivos, un ejemplo visible en nuestro país es el bajo apoyo por parte de empresas grandes y lucrativas a una nueva alternativa de combustibles, que quizá en este momento no tenga mucho auge, debido a la explotación indiscriminada del único recurso fósil; que lamentablemente se está acabando; sólo esta triste realidad hará posible generar nuevas propuestas a partir de materias primas vegetales no comerciales.



Figura 2. Semillas en buen estado.

La investigación constante en nuestro campo hacen que se encuentren soluciones que ayudan a resolver problemas mencionados anteriormente, logrando día a día dar al consumidor soluciones que ayudan en cierto porcentaje al motor del vehículo a cumplir con sus características de óptimo funcionamiento y rendimiento.



Figura 3. Cuerpos extraños.

II. OBTENCIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA.

Previo a la extracción del aceite, se hacen algunos pasos adicionales tales como:

- La limpieza y clasificación de la semilla es importante porque, si el cuerpo extraño posee aceites puede hacer variar los índices característicos del aceite que se va a obtener.

- El descascarado debe realizarse a mano o con la ayuda de una máquina descascaradora para las variedades indehiscentes.
- El secado se hace usando secadores verticales u horizontales, con la finalidad de que la humedad no supere ciertos límites, sobre los cuales influiría en el proceso de extracción.
- En la molienda se desgarran las células para dejar en libertad el aceite contenido en ellas, para ello se las somete al prensado. Las prensas pueden ser hidráulicas o discontinuas y continuas.



Figura 4. Molienda de las semillas.

III. ELABORACIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DEL ACEITE DE HIGUERILLA

El biocombustible se obtuvo mediante el proceso conocido como transesterificación, que es la reacción química como proceso industrial utilizado en la producción de biodiesel, que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas.

El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Todo este proceso se lleva a cabo en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación, purificación y estabilización.

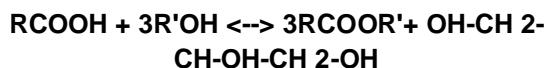


Figura 5. Ecuación química de la transesterificación.

Para realizar este proceso, hay que seguir una serie de pasos:

- Medir 1000 cc de aceite vegetal en un recipiente seco.
- Caliente el aceite a 48°C.
- En otro recipiente medir el alcohol, a eso añadir la sosa caústica. Bátalo bien con una cuchara de madera, aplastándolo cuando sea necesario hasta que todas las escamas o

copos de nieve desaparezcan; la mezcla debe ser ligeramente nublosa y se denomina "metóxido sódico".

- Añada la mezcla metanol-sosa al aceite caliente mientras lo agita vigorosamente. Bátalo durante 30 minutos. La mezcla al principio espesa y luego se vuelve más fina que el aceite original.

- Deje que la mezcla sedimente en una vasija alta y fina. El biodiesel flota en la parte superior y puede ser vertido en un contenedor para ser visto. La glicerina y el jabón van al fondo y pueden ser descartados.

Sin embargo, un factor muy importante que determina la calidad del biodiesel es la cantidad de reactivos.

Biodiesel → 100cc aceite + 1g Na(OH) + 260 cc alcohol + 15 cc H₂O

Ecuación para la obtención de biodiesel con 100 cc de aceite.

VI. PROTOCOLO DE PRUEBAS

A continuación se describe el resumen de operaciones del cual constará el protocolo de pruebas de la investigación del uso de la higuera al 5 – 10 % combinado con diesel en la camioneta D-Max, del laboratorio de motores del Departamento de Energía y Mecánica.

1	Medir potencia, torque, consumo de combustible, emisiones con la mezcla diesel/aceite al 5% por el estimado de 5 km, a temperatura de operación de 29°C, así como a una velocidad de 78.21 km/h.
2	Registrar valores y curvas.
3	Medir potencia, torque, consumo de combustible, emisiones con la mezcla diesel/aceite al 10% por el estimado de 5 km, a temperatura de operación de 27.5 °C así como a una velocidad de 110.72 km/h.

4	Registrar valores y curvas.
---	-----------------------------

Las pruebas se realizaron en una camioneta LUV DMAX 2.5 TD.

INFORMACIÓN DEL VEHÍCULO	
AÑO:	2009
FABRICANTE:	Chevrolet
MODELO:	LUV D-MAX TD
PLACA:	FTF-973
INFORMACIÓN DEL MOTOR	
AÑO DE FABRICACIÓN DEL MOTOR:	2008
RELACION DE COMPRESIÓN:	18.5 : 1
NUMERO DE CILINDROS:	4 En línea.
DIAMETRO POR CARRERA.	93X92 mm
DESPLAZAMIENTO:	2500 CC
ALIMENTACIÓN:	Bomba de Inyección directa De alta presión.
POTENCIA (HP@RPM):	79 @3900.
TORQUE NETO (N.m@RPM):	176@2000. 103lbf.ft@2000

Figura 4. Especificaciones técnicas del vehículo.

A continuación se muestran las curvas con los resultados obtenidos en los ensayos realizados en el motor de prueba con diesel y aceite de híguerilla al 5 -10%.

RESULTADOS OBTENIDOS DE POTENCIA Y TORQUE CON LA MEZCLA AL 5%

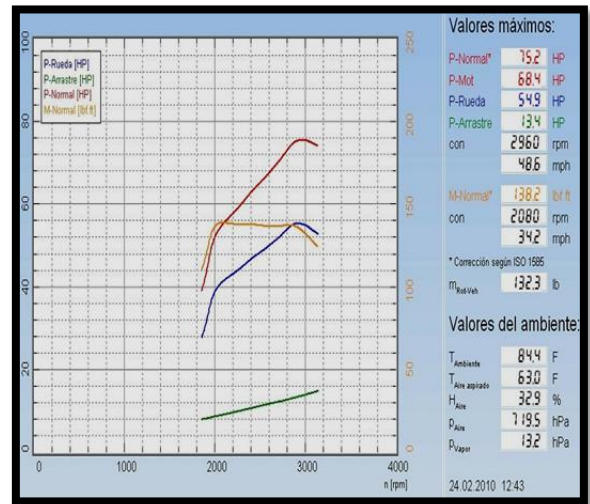


Figura 4. Potencia y torque con la mezcla al 5%.

Se ve claramente una curva pronunciada; la misma que alcanzó un valor de 75.2 HP @2960 RPM, con respecto al diesel se determinó un incremento de 5 HP, y con tan solo una pequeña cantidad de aceite.

RESULTADOS DE CONSUMO CON LA MEZCLA AL 5%

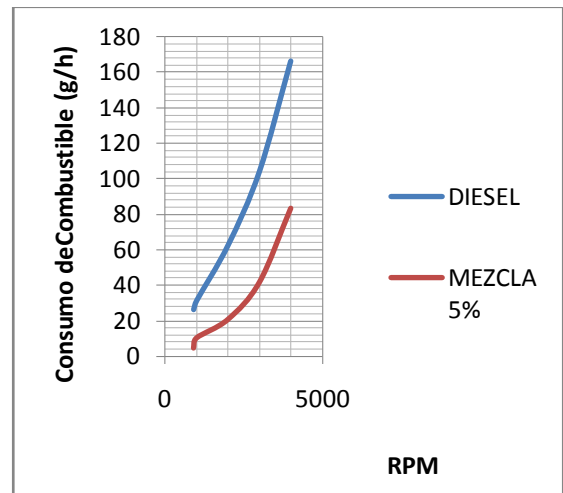


Figura 5. Consumo de combustible mezcla 5%

Con respecto al consumo con diesel, hay una variación significativa al 5%, la curva muestra una tendencia normal, pero al analizar casos puntuales tenemos: con el diesel a 3000 RPM consume 105 g/h, mientras que con la mezcla a las mismas RPM consume 40 g/h. En cambio a 2000 rpm con diesel consume alrededor de 65 g/h, y con la mezcla se reduce a 20 g/h. El consumo se reduce a menos de la mitad con respecto al consumo normal con el combustible diesel.

RESULTADOS DE EMISIONES CONTAMINANTES CON LA MEZCLA AL 5%

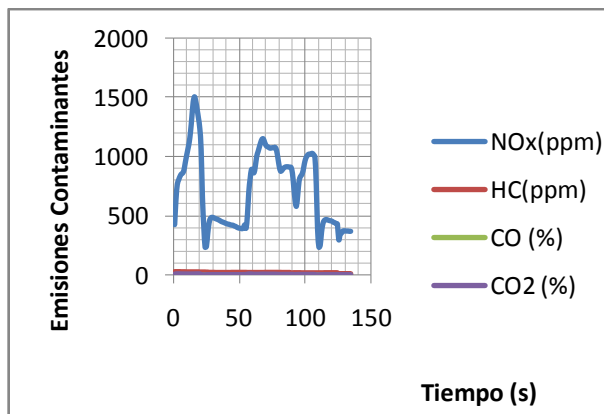


Figura 6. Emisiones contaminantes al 5%

La curva más representativa es la que corresponde a las emisiones de NOx, claramente se observa el aumento en las emisiones contaminantes, esto se debe al enriquecimiento de la mezcla por el aceite, es decir la mezcla no se combustiona completamente.

RESULTADOS OBTENIDOS DE POTENCIA Y TORQUE CON LA MEZCLA AL 10%

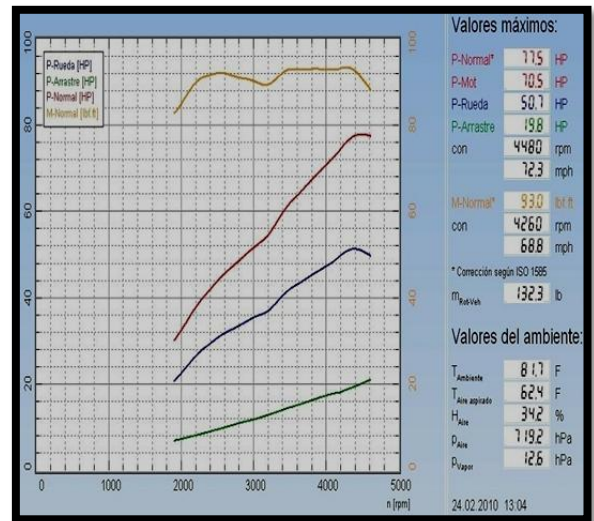


Figura 7. Potencia y torque con la mezcla al 10%

La potencia normal muestra un valor de 77.5 HP, a incrementado su valor, es representativo ya que el aceite está actuando como un aditivo natural, a lo que se explica el notable incremento.

En este caso, el torque difiere de los anteriores ya que se redujo a 93 HP, se puede considerar ambos parámetros para comprobar la elasticidad de un motor, especialmente cuando se conduce en pendientes ya bajo esta condición aumenta la resistencia a la traslación que el vehículo tiene que vencer.

RESULTADOS DE CONSUMO CON LA MEZCLA AL 5%

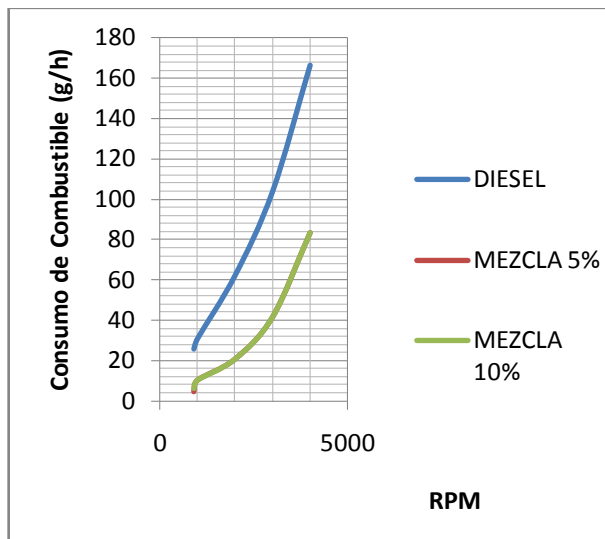


Figura 8. Consumo de combustible mezcla 10%

Se observa que la curva de consumo de combustible al 5 y 10% no presentan variaciones significativas; además se observa que a 3000 RPM el consumo con diesel es aproximadamente 105 g/h; mientras que a las mismas revoluciones con la mezcla de diesel y aceite de higuera al 5 y 10%, se reduce el consumo a alrededor de 40 g/h. Veamos otro ejemplo: a 2000 RPM con diesel hay un consumo de 65 g/h y con las mezclas un consumo de 20 g/h.

Claramente se observa una reducción en el consumo de combustible de aproximadamente 30%, prácticamente una cantidad ya considerable.

RESULTADOS DE EMISIONES CONTAMINANTES CON LA MEZCLA AL 10%

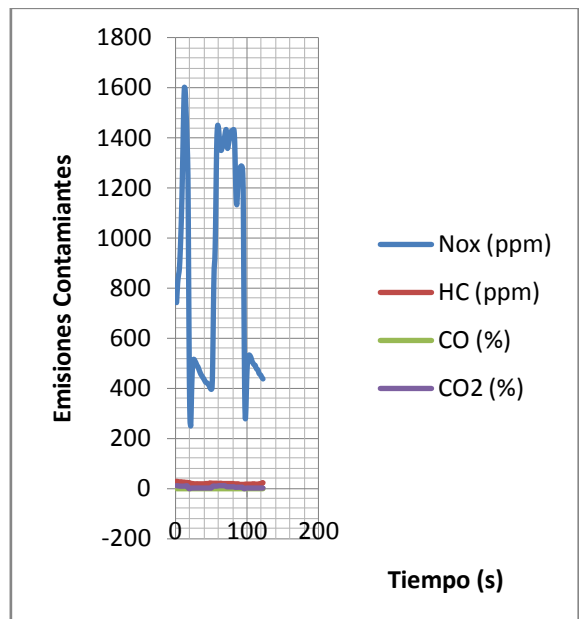


Figura 9. Emisiones contaminantes al 5%

Se observa que la mayor emisión de gases proviene del NOx, existe un consenso en las emisiones al usar aceite vegetal como combustible, además este incremento depende del tipo de aceite, obteniéndose menores emisiones entre más compuestos saturados tenga. Los argumentos para explicar esta tendencia se basan en que el aceite, por su mayor avance a la inyección y más rápido inicio de la combustión, produce una temperatura pico más elevada durante la fase de combustión. Otro argumento se basa en que hay mayor disponibilidad de oxígeno en la cámara de combustión para combinarse con el nitrógeno y formar los NOx.

CONCLUSIONES.

- Las condiciones que permiten obtener los mayores rendimientos de biodiesel de aceite de higuera mediante un catalizador básico es temperatura ambiente (25°C), una relación alcohol/aceite de 2.1 y un porcentaje de 0.1% en peso de hidróxido de sodio.
- En relación de la potencia se obtuvieron resultados favorables, debido a que esta se elevó en un porcentaje del 10%, lo que es

- significativo; ya que es un porcentaje superior al proporcionado por los aditivos conocidos comúnmente en el mercado.
- El torque máximo de 138.2 lbf.ft se obtiene con la mezcla al 5%, y un valor mínimo de 93 lbf.ft con la mezcla al 10%, por lo que se recomienda utilizar la mezcla al 5%, ya que en este caso la potencia es proporcional al torque.
 - El consumo de combustible se reduce al utilizar las mezclas tanto al 5 como al 10%, comparando con el consumo habitual con diesel comercial hay una reducción del 40%.
 - Las emisiones de CO a plena aceleración tiende a incrementarse al usar la mezcla al 5%, con un valor final de 2200 ppm; mientras que las de NOx elevan su valor en 50 ppm del valor límite en ralentí. Las emisiones de HC y CO2 se mantienen dentro del rango permitido.

BIBLIOGRAFÍA.

- Proaño Paola “INVESTIGACIÓN DE LA UTILIZACIÓN DEL ACEITE DE HIGUERILLA COMO COMBUSTIBLE ALTERNATIVO AL 5-10% EN MOTORES DIESEL CON BOMBA DE ALTA PRESIÓN CONVENCIONAL”
- GONZALES GARDUÑO, Cindy Trinidad: La Higuierilla (*Ricinus Communis L.*), notas y usos de Elia Méndez Salazar. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Convenio académico con Tlanhui-Educa.
- Escuela Superior Politécnica del Litoral. (2009). (En línea).Tesis: “Producción y Exportación de la Higuierilla (*Ricinus Communis L.*) a Colombia como Materia Prima para la Elaboración de Biocombustibles”. (p.41).
- HIGUEROIL, Cultivo de higuierilla. Extraído el 22 de Julio del 2008 desde www.karisma.org.co/Fresno/socializacionPG/docreferencia/biocombustibles/Documento%20Higuierilla.doc

ANEXO Q

GLOSARIO

Ácido Ricinoléico: Acido carboxílico con 18 átomos de carbono.

Albumen: Tejido que rodea el embrión de algunas plantas, como el trigo y el ricino, y le sirve de alimento cuando la semilla germina.

Alcalino: que contiene álcali, nombre dado a los óxidos metálicos que el agua puede actuar como bases energéticas.

Antera: Parte del estambre de las flores, que forma a modo de un saco pequeño, sencillo o doble, en donde se produce y se guarda el polen.

Carúncula: Carnosidad que presentan las semillas.

Dehiscente: Se dice del fruto cuyo pericarpio se abre naturalmente para que salga la semilla.

Diglicérido: Compuesto químico éster del glicerol, en el cual el hidrógeno de dos grupos hidroxilo es sustituido por un radical.

Etanol: Conocido como alcohol etílico, incoloro, inflamable a 78°C.

Indehiscente: Que en la madurez el pericarpio no se abre espontáneamente, necesitando de una máquina descascaradora para hacerlo.

Lóculo: Celdilla, hueco que ocupa la semilla de un fruto capsular.

Monoglicérido: Compuesto químico éster del glicerol, en el cual el hidrógeno de un grupo hidroxilo es sustituido por un radical.

Oleaginoso: Aceitoso.

Panícula: Espiga de flores.

Peciolo: Pezón de la hoja.

Pecioladas: Se dice de las hojas que tienen peciolo.

Pedicelo: Última ramificación del péndulo que lleva la flor.

Soca: Brote de la cosecha de higuera.

Sulfonado: Agentes catalizadores que producen intercambio de iones químicamente con compuestos orgánicos derivados de sulfuros y ácidos combinados.

Triglicérido: Molécula de glicerol en la que los tres grupos hidroxilos se encuentran esterificados por ácidos grasos. Son constituyentes de las grasas animales y vegetales.

LATACUNGA, JUNIO DEL 2010.

REALIZADO POR:

PAOLA MARIELA PROAÑO MOLINA.

ING. JUAN CASTRO CLAVIJO.

DIRECTOR DE CARRERA

INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DR. EDUARDO VÁSQUEZ ALCÁZAR

DIRECTOR DE UNIDAD ADMISIÓN Y REGISTRO.