



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

**“ADAPTACIÓN DEL MOTOR DIESEL TURBO ALIMENTADO  
PARA BIOCOMBUSTIBLE Y DETERMINAR VARIACIONES DE  
TORQUE, POTENCIA, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y  
CONTAMINANTES”**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**OSCAR RAÚL LOZADA TOSCANO**

**DIRECTOR: ING. CESAR PADILLA**

**Quito, Febrero 2013**

# **DERECHOS DE AUTOR**

© Universidad Tecnológica Equinoccial 2013

Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo, **Oscar Raúl Lozada Toscano**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

Oscar Raúl Lozada Toscano

C.I. 1718429697

# CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Adaptación del motor diesel turbo alimentado para biocombustible y determinar variaciones de torque, potencia, consumo de combustible y contaminantes**”, que, para aspirar al título de Ingeniero Automotriz fue desarrollado por **Oscar Raúl Lozada Toscano**, bajo mi dirección y supervisión, en la facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

---

Ing. Cesar Padilla

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I.

# CARTA DE LA INSTITUCIÓN

## **AGRADECIMIENTOS**

Existen muchas personas a las que les debo agradecer el hoy poder estar terminando este trabajo de titulación, principalmente a Dios por otorgarme el regalo de la vida, salud, y a mis padres, a quienes les debo todo, absolutamente todo, ellos son mi mas grande bendición, los mejores, quienes se han sacrificado día a día dejándolo todo por dárme todo, a mis hermanos Valeria y Andrés que me han sabido llenar de todo su cariño, a mi tía Bertha Lozada por su incondicional he interminable apoyo, de todo corazón gracias, a mi tía Elizabeth Toscano por su gran ayuda, a mis padrinos, los licenciados Edgar Live y María Luisa Lozada por su ayuda invaluable y palabras de aliento,

A mi director de tesis, el Ingeniero Cesar Padilla, que además de ser un excelente maestro, ha tenido grandes gestos de ser humano y amigo, al ingeniero Juan Antonio Mena Rosales, quien me ha brindado su ayuda en momentos de gran necesidad, a todos y cada uno de los profesores que entregaron sus conocimientos durante el tiempo que permanecí como estudiante dentro de esta prestigiosa facultad.

A mi abuelita, Teresa de Jesús Salguero y a mi angelito por su divina ayuda, ellos me han acompañado todos los días, cuidándome y bendiciéndome a cada paso.

A todas y cada una de las personas que me han apoyado DIOS LES PAGUE

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas y cada una de las personas que me han brindado su apoyo, cariño, consejos, conocimientos, y palabras de aliento para seguir adelante en aquellos momentos en los que la vida nos golpea, y donde es difícil salir adelante, por tal motivo dedico este trabajo, al señor Raúl Lozada, y a la señora Norma Toscano, mis padres, por ser un pilar fundamental durante toda mi vida, a mis dos hermanos, Valeria, y Andrés Lozada, por siempre estar a mi lado dándome su amor de hermanos y por quienes trato de ser un buen ejemplo para que ellos sigan adelante y no se dejen vencer por las dificultades que tiene la vida, a mi tía Bertha Lozada por no desampararme nunca, a mis padrinos Edgar Live y María Luisa Lozada por su invaluable ayuda, a mi tía Elizabeth Toscano, por su apoyo incondicional, a mi abuelita Teresa de Jesús, y a mi angelito que me cuida, a cada una de aquellas personas que creyeron en mi.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>PÁGINA</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b>	
21.FUNDAMENTOS	8
2.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	8
2.2.1 CICLOS OPERATIVOS	10
2.2.1.1 Motor de cuatro tiempos	11
2.2.2 PARTES PRINCIPALES DEL MOTOR DE DIESEL	14
2.2.2.1 El bloque	15
2.2.2.2 Conductos de agua.	15
2.2.2.3 Los Pistones	15
2.2.2.4 Las bielas	17
2.2.2.5 El cigüeñal	18
2.2.2.6 Tren de válvulas	19
2.2.2.7 El cabezote	20
<b>2.2.3 RELACION AIRE/COMBUSTIBLE</b>	<b>21</b>
<b>2.2.4 PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES DIESEL</b>	<b>22</b>
2.2.5 COMBUSTION EN EL MOTOR DIESEL	23
<b>2.2.6 COMBUSTION NORMAL</b>	<b>24</b>
<b>2.2.7 COMBUSTION ANORMAL</b>	<b>24</b>
<b>2.2.8 GOLPETEO DIESEL</b>	<b>25</b>
2.3 CÁMARA DE COMBUSTIÓN	26
<b>2.3.1 DISEÑO DE LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN</b>	<b>26</b>
<b>2.3.2 INYECCION DIRECTA</b>	<b>27</b>



<b>2.4.2.1 Ventajas de las cámaras de inyección</b>	
<b>directa</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2.2 Inconvenientes en la cámara de combustión</b>	
<b>directa</b>	<b>28</b>
<b>2.4.3 INYECCIÓN INDIRECTA</b>	<b>29</b>
<b>2.3.3.1 Cámaras de turbulencia</b>	<b>30</b>
<b>2.3.3.2 Cámaras de celdas de aire</b>	<b>30</b>
<b>2.3.3.3 Cámaras de Pre combustión</b>	<b>31</b>
2.3.3.4 Ventajas de la cámara de Precombustión	31
2.3.3.5 Desventajas de la cámara de precombustión	32
<b>2.4 MOTORES DIESEL</b>	<b>32</b>
<b>2.4.1 COMBUSTIÓN INTERNA A DIESEL</b>	<b>33</b>
<b>2.4.1.1 Motores atmosféricos a diesel</b>	<b>33</b>
<b>2.4.1.2 Sobrealimentados</b>	<b>34</b>
<b>2.4.2 COMPRESORES VOLUMÉTRICOS</b>	<b>35</b>
<b>2.4.3 TURBOALIMENTADOS</b>	<b>37</b>
<b>2.5 SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE</b>	<b>39</b>
2.7.1 DEPOSITO	41
<b>2.7.2 TUBOS DE COMBUSTIBLE</b>	<b>42</b>
<b>2.5.3 FILTROS</b>	<b>44</b>
<b>2.5.3.1 Filtros de inyector</b>	<b>46</b>
2.5.4 ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE	46
2.5.5 BOMBA DE ALIMENTACION	47
<b>2.6 BOMBAS DE INYECCIÓN</b>	<b>48</b>
<b>2.6.1 BOMBA DE INYECCION DE ELEMENTOS EN LINEA</b>	<b>49</b>
2.6.1.1 Retorno de las Bombas lineales de inyección	53
2.6.1.2 Funcionamiento interno de una bomba lineal	54

<b>2.7 INYECTORES</b>	<b>56</b>
2.7.1 FUNCIONAMIENTO	57
<b>2.7.1.1 Inyectores con toberas de orificio</b>	<b>59</b>
<b>2.7.1.2 Inyectores con toberas de aguja o espiga</b>	<b>61</b>
<b>2.8 COMBUSTIBLE DIESEL</b>	<b>63</b>
2.8.1 EMISION DE GASES CONTAMINANTES	64
<b>2.8.1.1 Número de Cetano</b>	<b>65</b>
<b>2.8.1.2 Propiedades del diesel</b>	<b>66</b>
<b>2.8.2 REQUISITOS DEL DIESEL</b>	<b>66</b>
2.8.3 PRINCIPALES COMTAMINANTES DEL DIESEL	69
<b>2.8.3.1 Óxidos de Azufre (SOx):69</b>	
<b>2.8.3.2 Óxidos de Nitrógeno (NOx)</b>	<b>70</b>
<b>2.8.3.3 Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)</b>	<b>71</b>
<b>2.8.3.4 Ozono (O3)</b>	<b>72</b>
<b>2.8.3.5 Monóxido de Carbono (CO)</b>	<b>72</b>
<b>2.9 COMBUSTIBLE BIODIESEL</b>	<b>73</b>
2.9.1 GENERALIDADES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES	73
<b>2.9.2 ACEITE VEGETAL</b>	<b>74</b>
<b>2.9.3 PROPIEDADES DEL BIODIESEL</b>	<b>77</b>
<b>2.9.3.1 Ventajas del biodiesel</b>	<b>79</b>
<b>2.9.3.2 Desventajas del biodiesel</b>	<b>80</b>
<b>2.9.4 VENTAJAS DEL BIODIESEL FRENTE AL DIESEL</b>	<b>81</b>
2.9.4.1 Lubricidad	81
2.9.4.2 Numero de cetano	81
2.9.3.4.3 Emisiones contaminantes	82
<b>3. DESARROLLO DEL PROYECTO</b>	<b>83</b>
3.1 EL VEHICULO	83
3.1.1 DATOS DEL VEHÍCULO	83

<b>3.1.2 ESPECIFICACIONES DEL MOTOR:</b>	<b>83</b>
<b>3.1.3 ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA DE INYECCIÓN.</b>	<b>83</b>
3.2 <b>DINAMÓMETRO</b>	<b>84</b>
<b>3.2.1 INTRODUCCIÓN</b>	<b>84</b>
<b>3.2.1.1 Tipos de Dinamómetro</b>	<b>84</b>
<b>3.2.2 DINAMÓMETRO DE MOTOR.</b>	<b>85</b>
<b>3.2.2.1 Curvas características del dinamómetro de motor</b>	<b>86</b>
<b>3.2.2.2 Curvas de velocidad</b>	<b>86</b>
<b>3.2.2.3 Curvas de carga</b>	<b>87</b>
<b>3.2.3 DINAMÓMETRO DE CHASIS</b>	<b>88</b>
<b>3.2.3.1 Potencia Efectiva.</b>	<b>88</b>
<b>3.2.3.2 Potencia Indicada</b>	<b>88</b>
<b>3.2.3.3 Potencia Normalizada</b>	<b>89</b>
3.2.3.4 Par Motor o Torque	89
<b>3.2.4 DINAMÓMETRO DE CHASIS (LPS 3000).</b>	<b>89</b>
3.3 <b>PRUEBAS (COMBUSTIBLE DIESEL)</b>	<b>90</b>
<b>3.3.1 PRUEBAS DE RUTA EN ACENSO.</b>	<b>91</b>
<b>3.3.1 PRUEBAS DE RUTA EN ACENSO.</b>	<b>91</b>
<b>3.3.2 PRUEBA EN CUESTA.</b>	<b>91</b>
<b>3.3.3 PRUEBAS EN PLANO</b>	<b>92</b>
<b>3.3.4 PRUEBA DE: TORQUE, POTENCIA, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y OPACIDAD. (DIESEL)</b>	<b>93</b>

3.4 RESULTADO DE LAS PRUEBAS EN DINAMOMETRO COMBUSTIBLE DIESEL	95
3.5 BIOCUMBUSTIBE	98
<b>3.5.1 INTRODUCCIÓN AL BIOCOMBUSTIBLE</b>	<b>99</b>
<b>3.5.2 ANÁLISIS DEL BODIESEL</b>	<b>99</b>
3.5.2.1 Densidad	100
3.5.2.2 Punto de inflamación	101
3.5.2.3 Viscosidad	103
3.5.2.4 Consecuencia de la Alta Viscosidad	103
3.5.2.5 Índice Cetano.	103
3.5.2.6 Índice de Acidez del Biodiesel.	104
3.6 UTILIZAICON DEL BODIESEL	105
<b>3.6.1 PRUEBAS EN CUESTA (BODIESEL)</b>	<b>106</b>
<b>3.6.2 PRUEBAS EN PLANO (BODIESEL)</b>	<b>108</b>
<b>3.6.3 PRUEBA DE: TORQUE, POTENCIA, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y OPACIDAD. (BODIESEL)</b>	<b>108</b>
<b>3.6.4 RESULTADO BODIESEL.</b>	<b>110</b>
3.7 COMPARACIONES	113
<b>3.7.1 CUADRO DE COMPARACION DE PRUEBAS ENTRE DIESEL Y BODIESEL</b>	<b>113</b>
3.7.1.1 Comparación de Torques	119
3.7.1.2 Comparación de Potencias Normales	120
3.7.1.3 Comparación de Potencias de Arrastre.	122
3.7.2 OPACIDADES	123
3.8 DISEÑO DE ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE MOTOR	128
3.8.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO	128

3.8.2 MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION	129
<b>3.8.3 SOLIDWORKS:</b>	<b>131</b>
<b>3.8.3.1 Proceso:</b>	<b>132</b>
3.8.4 PROCESO DE SOLDADURA	135
3.8.4.1 Electrodo	135
3.8.5 ESTRUCTURA Y MOTOR	137

## INDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 2.1:</b> Diferencias entre un motor diesel y uno a gasolina	9
<b>Tabla 2.2:</b> Diámetros de tuberías de alimentación a bombas inyectoras	43
<b>Tabla 2.3:</b> Dimensionamiento de conductos de alta presión, bombas-inyector	44
<b>Tabla 2.4.</b> Contaminantes en el motor diesel	66
<b>Tabla 2. 5.</b> Requisitos para el combustible diesel utilizado en aparatos de combustión externa, industriales o domésticos.	68
<b>Tabla 2.6.</b> Requisito para el combustible diesel utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de autoignición	69
<b>Tabla 2.7.</b> Requisito para el combustible diesel utilizado para uso de automotores de diesel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta volatilidad	70
<b>Tabla 2. 8.</b> Comparación de las propiedades del diesel del petróleo con los aceites.	76
<b>Tabla 2. 9.</b> Requisitos del Biodiesel	77
<b>Tabla 2. 10:</b> Diferencia de Propiedades Biodiesel y Diesel	79
<b>Tabla 2. 11:</b> Calores de combustión y números de cetano de diferentes tipos de biodiesel	80
<b>Tabla 3.1.</b> Prueba en cuesta con Diesel	92
<b>Tabla 3.2.</b> Prueba en Plano Diesel	93
<b>Tabla: 3.3.</b> Resultados de B100 vs Normas de Especificación	100
<b>Tabla 3.4.</b> Prueba en cuesta Biodiesel	107
<b>Tabla 3.5.</b> Prueba en Plano Biodiesel	108
<b>Tabla 3.6</b> Normas de corrección de Potencia, según diferentes normas	115
<b>Tabla 3.7.</b> Comparación de pruebas entre diesel y biodiesel	116
<b>Tabla 3.8.</b> Tabla de comparación de opacidades.	127
<b>Tabla: 3.9</b> especificación de electrodo E6011	136
<b>Tabla: 3.10</b> Costos de producción del biodiesel	146

## INDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
<b>Figura 2. 1:</b> Ciclos Operativos de un motor de cuatro tiempos. (WIKI, 2007)	11
<b>Figura 2. 2:</b> Ciclo Termodinámico Diesel de un motor de cuatro tiempos. (A. Gurevich, 1987)	13
<b>Figura: 2.3</b> partes principales del motor Diesel Fuente: (Garcia, 1987)	14
<b>Figura: 2.4</b> Pistón y sus partes Fuente: (Byrnes, 2005)	17
<b>Figura: 2.5</b> Conjunto Biela Pistón Fuente: (Byrnes, 2005)	18
<b>Figura: 2.6</b> Cigüeñal y sus partes Fuente: (Byrnes, 2005)	19
<b>Figura: 2.7</b> Tren de válvulas Fuente: (Byrnes, 2005)	20
<b>Figura: 2.8</b> El cabezote y empaque Fuente: (Garcia, 1987)	21
<b>Figura 2. 9:</b> Cámara de combustión de inyección Directa (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	29
<b>Figura: 2.10</b> Sobrealimentación (Bello, 2011)	34
<b>Figura 2.11</b> Compresor volumétrico (Alonso, 2001)	36
<b>Figura 2. 12:</b> Turbocompresor (Alonso, 2001)	38
<b>Figura 2. 13:</b> Turbocompresor- Funcionamiento básico del Turbocompresor (Alonso, 2001)	39
<b>Figura 2. 14:</b> Diagrama esquemática de un sistema de alimentación por presión (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	40
<b>Figura: 2.15:</b> Diagrama esquemática de un depósito de combustible (Chavez, 2004)	42
<b>Figura 2. 16:</b> Separador de Agua con cabeza de filtro (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	45
<b>Figura 2. 17:</b> Sistema de alimentación Diesel (Alonso, 2001)	47

<b>Figura: 2.18.</b> Bomba de alimentación (Alonso, 2001)	48
<b>Figura 2.19</b> Bomba de inyección en línea (Alonso, 2001)	50
<b>Figura: 2.20</b> funcionamiento de la bomba de inyección en línea. (Alonso, 2001)	52
<b>Figura 2.2 1:</b> Fases de funcionamiento de un elemento de bombeo (Loopez, 1987)	53
<b>Figura 2. 22:</b> Sistema de alimentación de combustible mediante una bomba de inyección lineal (Alonso, 2001)	54
<b>Figura 2. 23:</b> Funcionamiento de la dosificación del combustible en una bomba lineal	55
<b>Figura 2. 25:</b> Inyector con tornillo de ajuste del muelle (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	57
<b>Figura 2.26:</b> Sección de un inyector de taladro múltiple (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	58
<b>Figura 2.27:</b> Tobera de orificio único (izquierda) y tobera de orificio cónico único (derecha) (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	60
<b>Figura 2.28:</b> Tobera de un inyector con orificio múltiple. (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	60
<b>Figura 2.29</b> Tobera de orificios múltiples con varilla corta y con varilla larga (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	61
<b>Figura 2.30</b> Inyectores con toberas de aguja o espiga (PATRICIO, 2012)	62
<b>Figura 2. 31:</b> Tobera de Espiga (Alan Asmus & Wellinton, 1991)	63
<b>Figura 2. 32:</b> Separador de Agua con cabeza de filtro (Martínez, 2011)	64
<b>Figura 3.1:</b> Dinamómetro de Motor	86
<b>Figura 3.2</b> Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 parte 1	96
<b>Figura 3.3.</b> Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 parte 2	97
<b>Figura 3.4.</b> Resultados de ensayos en Biodiesel	102
<b>Figura: 3.5</b> Resultados de Análisis del Biodiesel al 100% (Borja, 2011)	105



<b>Figura 3.6.</b> Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 con biodiesel parte 1	111
<b>Figura 3.7.</b> Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 con biodiesel parte 2	112
<b>Figura: 3.8</b> Cuadro estadístico de medición de Potencias	117
<b>Figura: 3.9.</b> Cuadro estadístico de medición de Potencias menos el 10%	118
<b>Figura: 3.10</b> Comparación de torques Diesel vs Biodiesel	120
<b>Figura: 3.11</b> Comparación de P Normal Diesel vs Biodiesel	121
<b>Figura: 3.12</b> Comparación de P de Arrastre Diesel vs Biodiesel	122
<b>Figura; 3.13</b> Medición de opacidades con Diesel	124
<b>Figura; 3.14</b> Medición de opacidades con Biodiesel	125
<b>Figura 3.15</b> Valor de azufre en el biodiesel	126
<b>Figura: 3.16</b> Comparación entre opacidades Diesel vs Biodiesel	127
<b>Figura: 3.17</b> Perfil G	130
<b>Figura: 3.18</b> Tabla de medidas de perfil G	131
<b>Figura: 3.19</b> Esquema de estructura	133
<b>Figura. 3.20</b> Estructura para motor (Diseño)	134
<b>Figura: 3.21</b> Funcionamiento del electrodo	136
<b>Figura: 3.22</b> Maqueta Finalizada	138
<b>Figura: 3.23</b> Maqueta Finalizada	139
<b>Figura: 3.24</b> Maqueta Finalizada	140
<b>Figura: 3.25</b> Residuos de filtrado de Biodiesel	148
<b>Figura: 3.26</b> depósitos de almidones y material pesado en Biodiesel	149

## INDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
<b>ANEXO 1</b>	
<b>1.3.1 LEY NO. 2006-57153</b>	
<b>EL CONGRESO NACIONAL</b>	<b>155</b>
<b>1.3.2 LEY ORGANICA DE CREACION DEL FONDO ECUATORIANO DE INVERSION EN LOS SECTORES ENERGETICO E HIDROCAR-BURIFERO –FEISEH</b>	<b>155</b>
<b>ANEXO 2</b>	
<b>NORMA ISO 1585 (RESUMEN)</b>	<b>169</b>
<b>ANEXO 3</b>	
<b>ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR UN BIODIESEL</b>	
<b>185</b>	
<b>ANEXO 4</b>	
<b>Vehículo a realizar las pruebas: Volqueta NISSAN FD6-T</b>	<b>1</b>
<b>ANEXO 5</b>	
<b>Preparación del vehículo: Limpieza del Vehículo luego de su adquisición</b>	<b>1</b>
<b>ANEXO 6</b>	
<b>Preparación del vehículo: Lavada de motor, y sistemas para facilitar la manipulación</b>	<b>2</b>

## **ANEXO 7**

**Mantenimiento de la Bomba de inyección: en esta figura se puede apreciar el desmontaje de la bomba de inyección previo a su mantenimiento** 2

## **ANEXO 8**

**Pruebas de torque, potencia y opacidad realizadas en el CICCE: en esta figura se muestra el vehículo en las instalaciones de CCiCEV, para ser tomado los valores de Torque, Potencias, y Opacidad** 3

## **ANEXO 9**

**Pruebas de torque, potencia y opacidad realizadas en el CICCEV: en vehículo en la etapa de conexión de equipos: en el CCiCEV** 3

## **ANEXO 10**

**Pruebas de torque, potencia y opacidad. pantalla del dinamómetro, se puede apreciar la pantalla de RPM** 4

## **ANEXO 11**

**Computadora del Dinamómetro, a esta computadora le llegan todos los valores tomados por los equipos del dinamómetro para mostrarlos en la pantalla** 4

## **ANEXO 12**

**Simulador de carga de aire: este equipo nos sirve para que el motor no sufra recalentamientos por falta de aire.** 5

## **ANEXO 13**

**Motor sobre la estructura: el motor del vehículo en el que se realizó las pruebas sobre la estructura** 5

#### **ANEXO 14**

**Motor sobre la estructura: el motor del vehículo en el que se realizó las pruebas sobre la estructura 6**

#### **ANEXO 15**

**Proceso de pintura: luego de realizar el montaje del motor, la limpieza, se procedió a pintar los sistemas del motor y la estructura 6**

#### **ANEXO 18**

**Proceso de pintura: luego de realizar el montaje del motor, la limpieza, se procedió a pintar los sistemas del motor y la estructura 1**

#### **ANEXO 19**

**Proceso de pintura: luego de realizar el montaje del motor, la limpieza, se procedió a pintar los sistemas del motor y la estructura 1**

#### **ANEXO 20**

**Biodiesel sin filtrar: en esta figura se muestra el biodiesel asentado o reposo sin filtrar. 2**

#### **ANEXO 21**

**Residuos de filtrado del biodiesel: luego del proceso de filtrado, se muestra los almidones que contiene el biodiesel 2**



# **INTRODUCCION**

## **1.- RESEÑA**

### **1.1 BIOCOMBUSTIBLES EN EL ECUADOR**

El Ecuador es considerado un país petrolero, por ser esta la fuente mas importante de la economía, ya que es la exportación de crudo y derivados el que conforma en gran parte la riqueza del país que esta oscila entre un 43 y 66% del total de las exportaciones, y entre un 43 y 59 % del presupuesto general del estado.

Por esta razón no se ha contemplado la opción de investigar, en el campo de las energías renovables, según los estudios realizados en la amazonia Ecuatoriana, el país cuenta con una reserva de alrededor de 1470 millones de barriles, reserva calculada que durara alrededor de treinta años mas, sin contar con los 130 millones de reservas, aun no certificadas.

### **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El impacto ambiental que hoy en día sufre el planeta tierra se debe en un 50% debido a la quema de combustibles fósiles, usados en casi la totalidad de vehículos siendo estos los generadores de 0000 toneladas de CO<sub>2</sub> y contribuyendo en gran parte al efecto invernadero

El daño en el suelo, agua y aire de la amazonia Ecuatoriana y en todo el país ha llevado al borde de la extinción a las especies propias de la amazonia, ya

que con la contaminación, creación de nuevos campos de perforación, la fauna van muriendo en un porcentaje considerable, mientras que el resto debe migrar hacia nuevos hábitat. Pero a las multinacionales no les interesa nada más que extraerle toda la riqueza al suelo sin importarle las consecuencias que esto conlleva después de todo este proceso, como por ejemplo el caso TEXACO.

“Desde el año 1964 hasta 1992, la compañía petrolera transnacional construyó y operó pozos y estaciones de producción petrolera en la región norte de Amazonía Ecuatoriana. Cuando llegó Texaco a esta región, se le concedió un territorio de alrededor de 1.500.000 hectáreas de selva pura donde vivían varias comunidades indígenas con sus costumbres ancestrales en armonía con la naturaleza. El peor desastre petrolero del mundo.”

<http://www.amazoniaporlavida.org/es/Parque-nacional-Yasuni/el-peor-desastre-petrolero-del-mundo-texaco-en-la-amazonia-ecuatoriana.html>

En el Ecuador no existe una conciencia de reciclado de materias primas utilizadas en diferentes industrias, como ejemplo los aceites utilizados para preparar alimentos. Todavía los lubricantes utilizados en los motores de combustión interna, no son manejados correctamente luego de su utilización son arrojados al alcantarillado, causando daño ambiental.

La ciudad de Quito es la más contaminada del Ecuador, esto se debe a que el parque automotor rodea los 450000 vehículos que circulan durante un día, generando grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, y se debe tomar en cuenta que esta cantidad de vehículos se incrementa día a día. Siendo esta contaminación la principal causante de distintas enfermedades pulmonares en personas adultas como en recién nacidos especialmente, debido al azufre y distintos químicos emitidos por la combustión de los derivados del petróleo.

De acuerdo con los datos de 2007, emitidos por la Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE), se realizó un cálculo para

determinar el volumen de reducción en la emisión de gases a la atmósfera si un día por semana cada conductor dejara su vehículos en casa. Así, un automotor emite 0,000239 toneladas Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>); 0,0000101 toneladas Monóxido de Carbono (CO); 0,000000094 toneladas de Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>) y 0,0000011 toneladas Monóxido de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) por cada kilometro que viaja. Esto significa que cada día, un conductor que en promedio viaja aproximadamente 39 kilómetros por día, genera 0,011541 toneladas CO<sub>2</sub>; 0,000490 toneladas CO, 0,0000060 toneladas de SO<sub>2</sub>, y 0,0000465 toneladas de NO<sub>x</sub>. (Ciclopolis, 2012)

### **1.3 ANTECEDENTES**

En el Ecuador solo existe un productor de biodiesel (LA FABRIL), cuyo producto esta hecho a base de aceite de palma, pero se debe tomar en cuenta que esta producción no es constante, esto quiere decir que la producción de el biodiesel de la Fabril no es permanente, es una producción que va de cuerdo con la solicitud del demandante del producto, pero esta producción de biodiesel no se encuentra a disposición de los ecuatorianos, porque LA FABRIL no comercializa este producto en el país, siendo su destino los Estados Unidos de Norteamérica.

El desconocimiento de las energías alternativas y renovables han llevado a que las personas solo piensen que los vehículos funcionan con los derivados directamente del petróleo, ignorando por completo la sola idea de que su vehículo pueda funcionar con aceites de diferentes semillas, o aceites reciclados.



La falta de apoyo por parte de los gobiernos, ha estancado cualquier tipo de iniciativa privada o por parte de las universidades y sus proyectos para la generación de energías renovables, quedando en solo ideas.

Según la ley de biocombustibles en el Ecuador esta nos dice que: ver anexo 1

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Investigar la utilización de Biodiesel en un motor y determinar parámetros de cambio.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Adaptar Biodiesel a un motor Diesel turboalimentado.
- Determinar variaciones de Torque, Potencia y consumo de combustible al cambio de Diesel a Biodiesel.
- Construir una estructura de soporte para el motor, mediante la utilización de Solid Works.

## **1.6 HIPOTESIS**

La determinación de variaciones de Torque, Potencia y Consumo de combustible, al sustituir el combustible ordinario (Diesel), por uno de características no fósiles (Biodiesel).

## **1.7 METODOLOGIA**

Los métodos utilizados en el desarrollo de este trabajo fueron:

### **1.7.1 PLANIFICACION**

Este método fue el primero en utilizarse en el proyecto, ya que es indispensable organizar cada una de las ideas, y articularlas de tal manera para que vayan coordinando el tiempo con cada uno de los trabajos a realizarse, y de esta manera tener todas las actividades sincronizadas con los trabajos.

### **1.7.2 METODO DESCRIPTIVO:**

Su preocupación primordial radica en describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permitan poner de manifiesto su estructura o comportamiento. De esta forma se pueden obtener las notas que caracterizan a la realidad estudiada.

Este método fue utilizado para ir describiendo a lo largo de todo este proceso cada uno de los puntos, practicas, u experimentos que se realizaron hasta la culminación de este trabajo investigativo. Como por ejemplo se describió paso a paso las pruebas de ruta y dinamómetro a realizarse

### **1.7.3 EL MÉTODO EXPERIMENTAL**

El experimento dentro de los métodos empíricos resulta el más complejo y eficaz; este surge como resultado del desarrollo de la técnica y del conocimiento humano, como consecuencia del esfuerzo que realiza el hombre por penetrar en lo desconocido a través de su actividad transformadora.

El experimento es el método empírico de estudio de un objeto, en el cual el investigador crea las condiciones necesarias o adecua las existentes, para el esclarecimiento de las propiedades y relaciones del objeto, que son de utilidad en la investigación.

El experimento es la actividad que realiza el investigador donde:

- Aísla el objeto y las propiedades que estudia, de la influencia de otros factores no esenciales que puedan enmascarar la esencia del mismo en opinión del investigador.

- Reproduce el objeto de estudio en condiciones controladas.

- Modifica las condiciones bajo las cuales tiene lugar el proceso o fenómeno de forma planificada.

El objetivo del experimento puede ser: esclarecer determinadas leyes, relaciones o detectar en el objeto una determinada propiedad; para verificar una hipótesis, una teoría, un modelo. Un mismo experimento puede llevarse a cabo con variados fines.

El experimento siempre está indisolublemente unido a la teoría. En la teoría el problema se formula esencialmente como un problema teórico, un problema que se refiere al objeto idealizado de la teoría y que se experimenta para comprobar en un plano dialéctico, los conceptos teóricos pertenecientes a la teoría.

Las condiciones que rodea el objeto son aquellas condiciones naturales o artificiales creadas por el investigador bajo la cual se realiza el experimento con los medios e instrumentos adecuados para la misma.

El hecho de que en el experimento el investigador provoca el proceso o fenómeno que desea abordar, hace que el método experimental presente toda una serie de ventajas sobre los restantes métodos empíricos, estas son:

- Separación y aislamiento de las propiedades en las cuales presta atención para su estudio, del medio que pueda ejercer influencia sobre ellas.
- Posibilidad de estudio del proceso o fenómeno en condiciones variadas.
- Reproducir el experimento.

Este método es uno de los más importantes, ya que será utilizado mientras se están realizando las diferentes adecuaciones en el motor para que este pueda funcionar con el biocombustible, ya que se tiene previsto que el motor del vehículo no encienda en el peor de los casos o que este pierda potencia, es en donde entrara este método.

## **1.8 ALCANCES.**

El fin de este trabajo investigativo, y experimental, es dar a conocer a las personas que existen diferentes alternativas a los combustibles fósiles, que a su vez reducen de manera exorbitante la contaminación, con lo que se creara una conciencia ambiental dentro de las personas para que tomen cartas en el tema y se preocupen más por el medio ambiente.

Además con este trabajo se ayudara a las futuras generaciones de estudiantes, ya que se está dando la pauta para que sigan los proyectos con nuevas combustibles que sean amigables al medio ambiente y que no solo se dependa de los combustibles fósiles.

# MARCO TEÓRICO

## 2.1 FUNDAMENTOS

Si en el interior de un cilindro lleno de aire, que se ha comprimido fuertemente, y que por lo tanto se ha calentado mucho, que esta tapado por la parte superior con la culata y por la parte inferior por el pistón, inyectamos una pequeña cantidad de combustible (Diesel), finamente pulverizado y a mucha presión, se producirá la combustión espontánea de este, originándose una gran cantidad de gases y un fuerte aumento de la temperatura, lo que da lugar a una gran presión sobre las paredes del cilindro. Esta presión se ejerce en todas las direcciones; pero al estar la culata firmemente sujeta al bloque, las paredes del cilindro ser muy resistentes, y ser la única pieza móvil el pistón, este, será desplazado hacia abajo transmitiendo este movimiento a través de la biela hasta el cigüeñal, produciendo el movimiento del motor. (Atares, 1996)

Hoy en día el motor diesel no solo es utilizado en vehículos de transporte pesado, sino también en maquinaria pesada, maquinaria agrícola, para obras civiles, de minería y transporte marítimo, como sistema de propulsión para extraer agua de pozos, en trenes etc.

## 2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

A diferencia de los motores a gasolina, en los motores a diesel, el encendido se logra por la temperatura elevada del aire obtenida como resultado de la compresión en el interior del cilindro, el combustible es inyectado a presión en la cámara de combustión, de forma que se atomiza y se mezcla con el aire a

alta temperatura, generando que la mezcla se queme rápidamente y se expanda impulsando el pistón hacia abajo. La biela se encarga de transmitir este movimiento al cigüeñal quien transforma el movimiento lineal del pistón a un movimiento de rotación.

El funcionamiento de este sistema resulta más económico, con un rendimiento más elevado y sobre todo con un consumo más bajo de combustible en comparación al motor a gasolina.

El motor diesel presenta ciertas ventajas respecto al de gasolina tales como:

- Ausencia del sistema de encendido, que es el causante de la deficiencia de la puesta a punto del motor de gasolina.
- Comparados con los motores a gasolina estos tienen menor consumo de combustible, teniendo en cuenta que el Diesel es más barato.

Las desventajas iniciales de estos motores (principalmente precio, costos de mantenimiento y prestaciones) se están reduciendo debido a mejoras como la inyección electrónica y el turbocompresor. Ver tabla: 2.1

**Tabla 2.2:** Diferencias entre un motor diesel y uno a gasolina

Motor de Gasolina	Motor a Diesel
Aspiración: Mezcla de aire-combustible	Aspiración: Solo Aire
Compresión: La mezcla dosificada se comprime reduciendo su volumen de 1:9-1:10 del inicial.	La compresión del aire suministrado a los cilindros se reduce su volumen hasta 1:22-1:30 del inicial.
Cuando el embolo está en el PMS salta la chispa y se enciende la mezcla.	Cuando el embolo está en el PMS, al aire comprimido se inyecta el combustible pulverizado, mezclándose y arde sin la necesidad que se produzca la chispa.
Componentes más livianos	Componentes más pesados
EL peso motor es del 100%	El peso motor es del 150%
El rendimiento térmico es de 24% aproximadamente	El rendimiento térmico es de 35-40% aproximadamente
Existe un porcentaje elevado contaminación en monóxido de carbono CO	Existe una inferior contaminación de CO.
Presenta elementos auxiliares de carburación, encendido, de menor valor	Presenta elementos tales como la bomba de inyección e inyectores de mayor valor.
Poco ruido	Genera mas desiveles de ruido ruido
No requiere de personal especializado en el mantenimiento	Requiere de personal especializado en el mantenimiento

(Lopez, 1987)

### 2.2.1 CICLOS OPERATIVOS

Como fue mencionado en el párrafo: 2.1 para que e motor Diesel pueda funcionar es necesario que: 1 el cilindro se llene de aire 2 que este aire sea comprimido y 3 que se inyecte el Diesel y arda para que finalmente el motor pueda seguir funcionando, una vez realizada la combustión, una vez realizada la combustión, los gases producidos deben ser desalojados fuera del cilindro.

A cada una de estas fases se las denomina tiempos del motor, llamándose tiempo de admisión a la entrada de aire al cilindro, tiempo de compresión al

comprimir el aire que acaba de ingresar, tiempo de trabajo o expansión a la combustión del Diesel inyectado, y tiempo de escape a la expulsión de estos gases fuera del cilindro. (Atares, 1996)

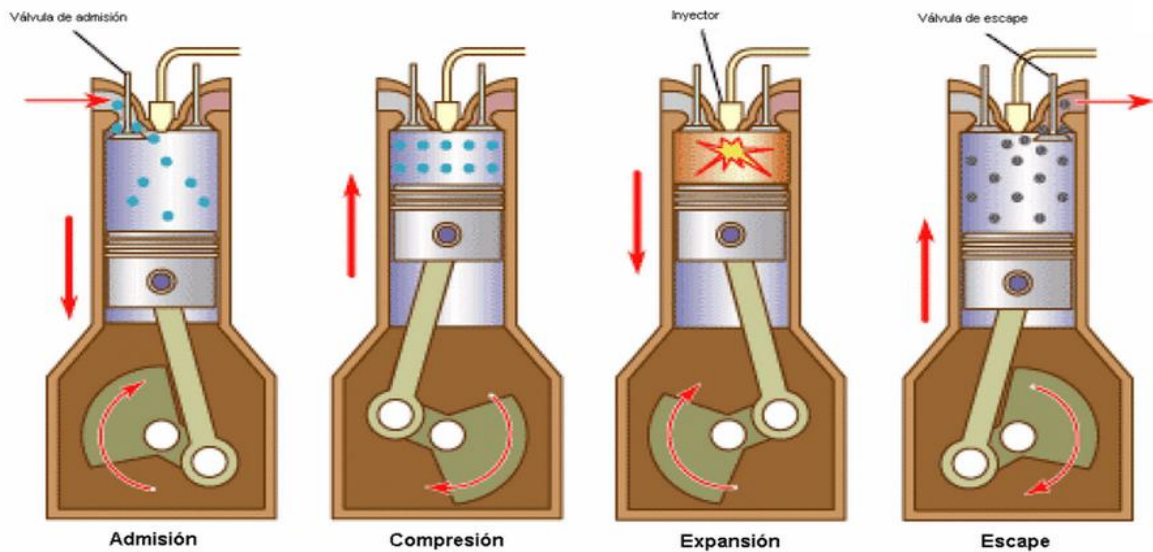
Son aquellas operaciones que suceden en el interior del cilindro y se repiten periódicamente. La duración de cada ciclo se debe al número de carreras del pistón necesarias para realizarlo, distinguiéndose de tal forma los motores de dos y cuatro tiempos, cuando son suficientes dos o cuatros carreras respectivamente para completar con el ciclo. Ver figura 2.1

#### **2.2.1.1 Motor de cuatro tiempos**

Los tiempos en cada ciclo termodinámico en un motor Diesel de cuatro tiempos se repiten siempre en el mismo orden, cada dos vueltas completas del cigüeñal Y estos son: ver figura 2.1

- Admisión del aire
- Compresión del aire
- Inyección del combustible, combustión y expansión.
- Escape de los gases generados en la combustión





**Figura 2. 1:** Ciclos Operativos de un motor de cuatro tiempos.

(WIKI, 2007)

### 2.2.1.2 Funcionamiento del motor de cuatro tiempos

**Admisión:** el pistón desciende del PMS al PMI, estando abierta la válvula de admisión, entrando aire por la succión que hace el pistón hasta que este llega al PMI. El cigüeñal habrá dado la primera media vuelta del ciclo.

**Compresión:** la válvula del orificio de admisión por donde ingreso aire se cierra. El pistón asciende del PMI al PMS. Como el aire no puede salir, por estar los dos orificios cerrados se va comprimiendo, y al subir el pistón hasta alcanzar una presión de 35 a 40 kg/cm<sup>2</sup> y una temperatura de 500 C a 700 C, cuando el pistón llega al PMS. El cigüeñal habrá dado la segunda vuelta del ciclo.

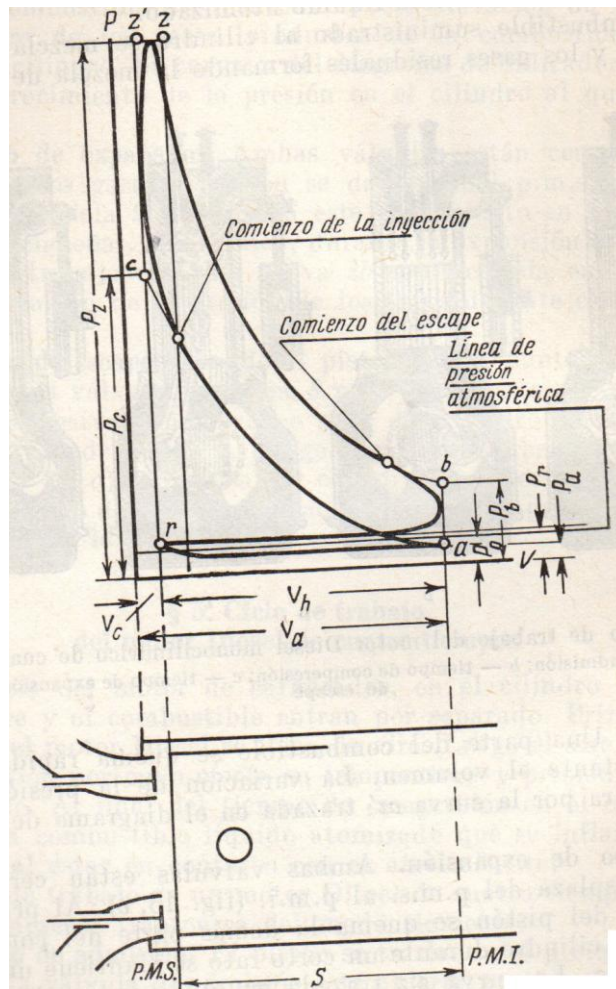
**Trabajo:** al finalizar la compresión del aire, el inyector introduce una pequeña cantidad de diesel, finamente pulverizado, que al entrar en contacto con el aire a alta temperatura se inflama produciéndose la combustión del mismo. Debido a esta combustión, la temperatura de los gases se eleva hasta 1.500 C o 2.000 C, produciéndose un aumento de presión hasta llegar a los 60 a 90 kg/cm<sup>2</sup>. Al

ejercer esta presión sobre la cabeza del pistón, le empuja hacia abajo hasta el PMI, efectuando la carrera de trabajo, siendo este el único tiempo en el que el cigüeñal recibe movimiento. El cigüeñal habrá dado la tercera media vuelta.

Escape: finalizada la carrera de trabajo, el cilindro se encuentra lleno de gases quemados procedentes de la combustión por lo que será necesario expulsarlos para dejar limpio el cilindro y pueda volver a repetirse el ciclo. Para ello se abre la válvula de escape y el pistón es empujado por el cigüeñal hacia arriba expulsando los gases quemados al exterior.

Al llegar el pistón al PMS, se cierra la válvula del orificio de escape, se abre la válvula del orificio de admisión y vuelve a repetirse el ciclo. El cigüeñal habrá dado la cuarta media vuelta del ciclo. Como vemos, para completarse el ciclo, han sido necesarias cuatro medias vueltas, o sea, dos vueltas completas de cigüeñal. (Atares, 1996)

En la figura 2.2 se puede apreciar el ciclo termodinámico de funcionamiento de un motor a diesel de cuatro tiempos, en donde se muestra claramente los cuatro tiempos del motor, además se puede ver donde empieza la inyección, y donde comienza el ciclo de escape.

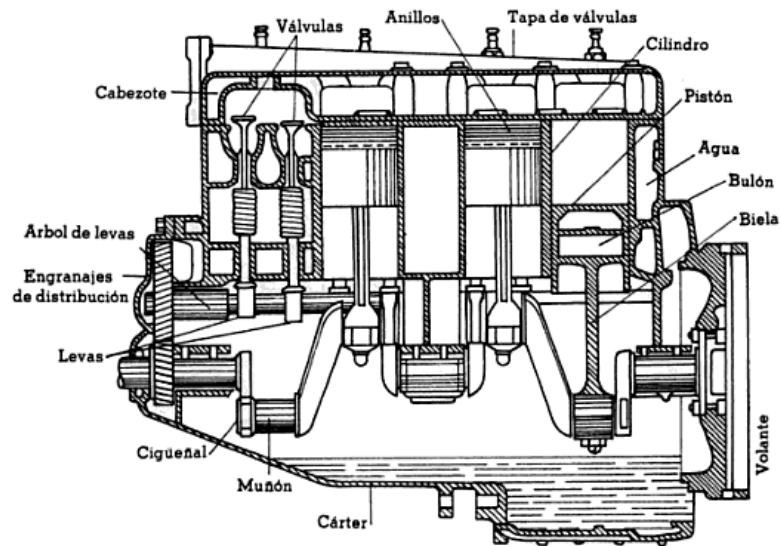


**Figura 2. 2:** Ciclo Termodinámico Diesel de un motor de cuatro tiempos.

(A. Gurevich, 1987)

## PARTES PRINCIPALES DEL MOTOR DIESEL

Antes de comprender los principios de operación de un motor, es necesario conocer más acerca de sus partes o componentes. Luego de ello se podrá tratar de cómo trabajan juntas para producir potencia. Ver figura 2.3



**Figura: 2.3** partes principales del motor Diesel

Fuente: (García, 1987)

Las partes principales del motor diesel son:

Bloque de cilindros

Los pistones

Las bielas

El cigüeñal

El tren de válvulas

El cabezote

Y todos aquellos componentes de los que constan estas partes. Vamos a mencionar brevemente el funcionamiento de cada uno de ellos.

Bloque de cilindros

### **2.2.2.1 El bloque**

El bloque de cilindros consta de muchos componentes pequeños. Contienen los agujeros de los cilindros, o taladros para los pistones, los conductos para el agua, los conductos para el aceite, da alojamiento para el cigüeñal y al cárter, que va atornillado a este por la parte inferior del mismo. Ver figura 2.4

### **2.2.2.2 Conductos de agua**

Los conductos de agua son los espacios en el block, que rodean los agujeros de los cilindros con refrigerante, para eliminar algo de calor del motor.

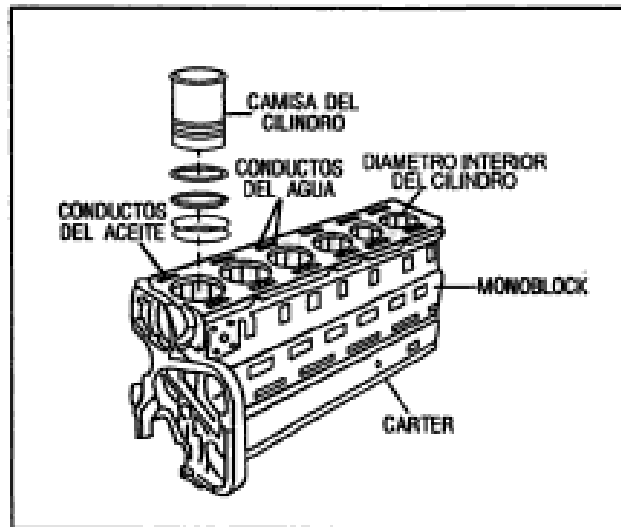
### **2.2.2.3 Los pistones**

Los pistones en los motores diesel están diseñados para que sean muy durables, ya que deben aguantar altas presiones de compresión de alrededor de 900 PSI, y temperaturas de alrededor de 1000 F. dependiendo del clima, los pistones también pueden estar expuestos a temperaturas muy frías.

Generalmente los pistones están hechos de hierro maleable o aluminio. Los de aluminio son más ligeros que los de hierro, lo que reduce la carga sobre las chumaceras del motor y sobre el cigüeñal. Los pistones de aluminio conducen el calor mejor que los de hierro, de hecho se enfrían el doble de rápido. La vibración tiene menor efecto sobre los pistones de aluminio. Pero los pistones de aluminio se desgastan más rápido que los de hierro, y no pueden aguantar el calor tan bien como los de hierro.

Los pistones dan alojamiento a los anillos (rines), que son anillos de compresión y de aceite. Los anillos de compresión generalmente están hechos de hierro fundido, y metalizados con cromo para disminuir el rayado y el desgaste estos siempre están cerca de la parte superior del pistón, y hacen que el pistón se ajuste a las paredes del cilindro, para que se genere la compresión. los anillos de aceite son muy delgados y están hechos de hierro fundido, la mayoría usan expansores que obligan al anillo de aceite a apretarse contra la pared de el cilindro.

El motor está formado por uno o varios cilindros dispuestos en diferentes geometrías, en cuyo interior se mueven los pistones, los mismos que son impulsados por los gases cuando se produce la combustión, arrastrando la biela articulada al pistón, que transforma el movimiento lineal del pistón a movimiento rotativo del cigüeñal, en cuyo extremo se encuentra acoplada un volante de inercia que almacena la energía del poder expansivo del combustible al darle movimiento rotativo al cigüeñal, siendo el único tiempo en el cual se da el impulso de movimiento y por la inercia de este volante y la energía recibida es suficiente para hacer girar el cigüeñal durante los tres tiempos restantes. En la parte superior de los cilindros queda montada la tapa llamada culata o cabezote. Ver figura 2.4



**Figura: 2.4** Pistón y sus partes

Fuente: (Byrnes, 2005)

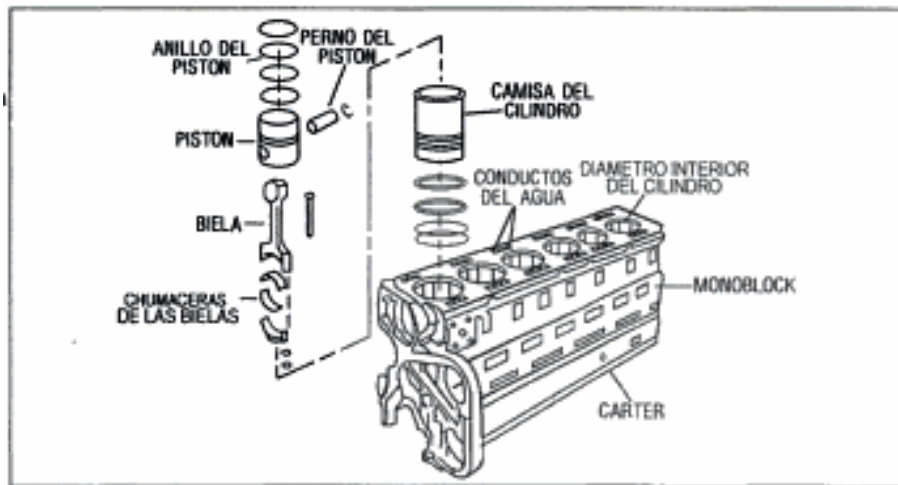
#### **2.2.2.4 Las bielas**

El pistón está conectado al cigüeñal por medio de una pieza llamada biela, y esta está conectada al pistón por el perno del pistón (bulón).

Las bielas están hechas de acero forjado. Transforman el movimiento de arriba hacia abajo del pistón, al de rotación o movimiento giratorio del cigüeñal. Hay dos tipos de bielas, la biela en I y la tubular. el tipo de biela que se usa depende del tipo y diseño del motor. Las partes principales de las bielas son: el bulón y las chumaceras.

El bulón conecta la parte superior de la biela con el pistón, el bulón esta hecho de acero al cromo, y vienen en varios tamaños, estar depende de la carga a la que va a estar expuesto.

Las chumaceras (camisas) son del tipo de los que tienen la pared delgada. Reducen la fricción y protegen tanto al cigüeñal como a las bielas del desgaste excesivo. Ver figura 2.5



**Figura: 2.5** Conjunto Biela Pistón

Fuente: (Byrnes, 2005)

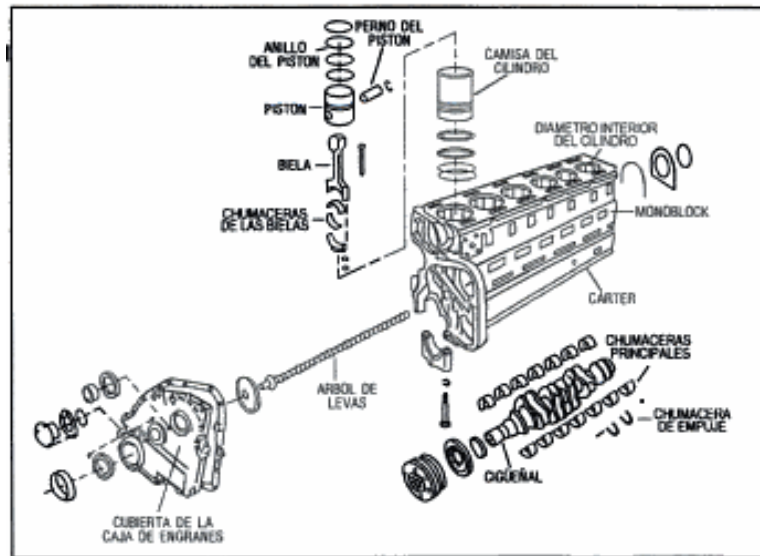
### 2.2.2.5 El cigüeñal

El cigüeñal está hecho de acero forjado o de hierro fundido o templado, el cigüeñal es el eje principal del motor diesel. Su movimiento rotatorio se usa para dar movimiento al vehículo.

Los cigüeñales tienen pasadizos secretos por donde pasa el aceite, estos taladrados en el cigüeñal se alinean con los pasadizos que tienen las bielas y las camisas, para que este se encuentre siempre lubricado. El volante del motor está conectado a uno de los extremos del cigüeñal y cumple tres funciones;



amortiguar vibraciones, brinda movimiento al embrague, sirve para que gire el motor de arranque. Ver figura 2.6

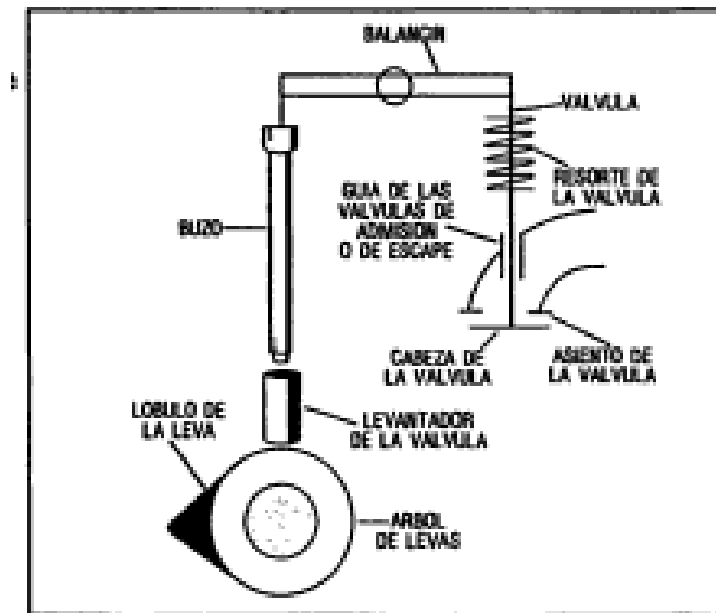


**Figura: 2.6** Cigüeñal y sus partes

Fuente: (Byrnes, 2005)

### 2.2.2.6 Tren de válvulas

Cada cilindro tiene por lo menos una válvula de admisión y una de escape, las válvulas son las encargadas de permitir el ingreso del aire en el momento de la admisión, y dar paso para el barrido de gases de escape. Dado a que las válvulas están sometidas a altas presiones están hechas de aleaciones especiales, y generalmente en dos piezas, la cabeza y la cara hacen una pieza y el Angulo de corte y el vástago hacen otra parte. Ver figura 2.7. (Byrnes, 2005)

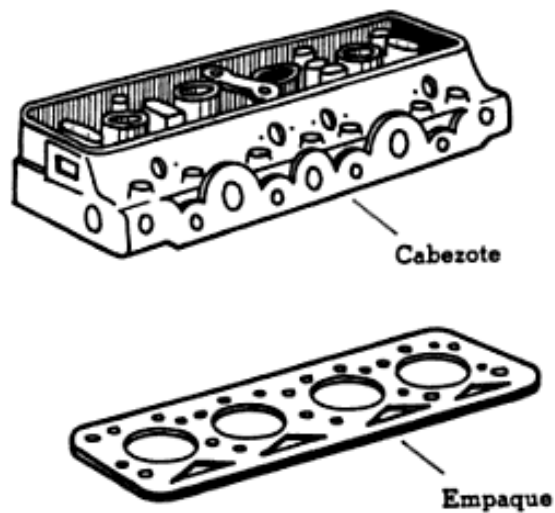


**Figura: 2.7** Tren de válvulas

Fuente: (Byrnes, 2005)

### 2.2.2.7 El cabezote

Es la tapa superior de los cilindros y se sujeta al bloque por medio de tornillos. Esta es hecha principalmente de hierro fundido y de aluminio. En la mayoría de los motores modernos el cabezote contiene las válvulas y los conductos que se conectan con los múltiplos de admisión y escape. Entre el cabezote y el bloque se coloca un empaque especial para soportar altas presiones y temperaturas, este es hecho de bronce y de amianto, este debe ser cambiado por uno nuevo siempre que se desmonte el cabezote. Ver figura 2.8



**Figura: 2.8** El cabezote y empaque

Fuente: (Garcia, 1987)

### 2.2.3 RELACION AIRE/COMBUSTIBLE

Es la relación de la mezcla de combustible y aire necesario para la combustión y se representa en porcentajes en peso y no en volumen, por lo que se considera que por cada gramo de combustible teóricamente le corresponde 14.7 gramos de aire necesarios.

Cuando el motor diesel funciona con poca carga (y por tanto se inyecta una cantidad reducida de combustible en una cantidad normal de aire), la relación aire/combustible es varias veces mayor que el valor teórico de 14.5. A medida que aumenta la carga, disminuye la relación aire combustible; pero aun cuando el motor funcione con sobrecarga, la relación aire/combustible debe ser por lo menos del 25 al 30% mayor que 14.5 (es decir, 18 o 19 por lo menos). Para que la combustión sea completa, debe estar presente toda esta cantidad de aire en

exceso sobre la mínima teórica, y si se inyecta suficiente combustible para reducir la relación aire/combustible al valor de 14.5 el motor desarrollaría menos potencia en lugar de más. (Luck, 2003)

#### **2.2.4 PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES DIESEL**

Estos combustibles presentan ciertas propiedades adecuadas para ser utilizadas en este tipo de motores y son:

- Viscosidad:
- Punto de Inflamación
- Temperatura de autoignición
- Calor específico
- Densidad

Que se los retomara con mayor énfasis mas adelante

La calidad del diesel es mucho mejor, cuanto menor es el retardo a la inflamación, si este tiempo es pequeño quiere decir que tiene un buen poder de encendido, el cual es en función de sus características como son: viscosidad y calor específico. La medida del poder de encendido de un combustible viene dado por el número de cetano (NC), el cetano es un hidrocarburo parafínico con optima facilidad de ignición el cual se le asigna normalmente NC=100. El diesel normal tiene un NC entre 40 y 70. Un suficiente poder de encendido del diesel es la condición previa para una combustión normal y antidetonante en el motor diesel. La detonación se produce en estos casos cuando el poder de encendido del combustible es inferior al requerido por el motor.

Para incrementar el NC se debe añadir compuestos de nitrógeno y peróxidos, para esto se utiliza el nitrato de ciclo exanol que añadiendo al combustible en un porcentaje de 0.2% eleva el NC en siete unidades aproximadamente.

Los efectos del diesel sobre el motor se resumen en las siguientes características:

- Golpeteo diesel: Se genera cuando se tiene un insuficiente poder de encendido
- Sedimentos en el motor: cuando se utiliza un combustible de escasa calidad de encendido
- Dificultad en el arranque
- Olor y humos

### **2.2.5 COMBUSTION EN EL MOTOR DIESEL**

La combustión en el motor diesel, se realiza considerando el diagrama de variación de la presión en el interior del cilindro en relación al ángulo de giro del cigüeñal. Este proceso se puede dividir en cuatro periodos y son:

- Periodo de retraso de encendido: Es aquel tiempo en el que el combustible es inyectado al cilindro y es calentado por el aire comprimido caliente, el cual debe ser el más corto posible ya que afecta al proceso de combustión y generalmente produce el picado del motor.
- Periodo de propagación de la llama: Conforme la mezcla aire-combustible se enciende en varios lugares, la llama se propagará rápidamente a cada porción de la cámara, lo que provoca una repentina elevación de la presión, relacionándola con la cantidad de combustible inyectada durante el periodo de retraso de encendido y su estado

atomizado. La mayor cantidad de combustible se quema durante este periodo.

- Periodo de combustión directa: Sigue inyectándose combustible a la cámara la cual es quemada inmediatamente por la llama generada, variando la presión en relación a la cantidad de combustible inyectado.
- Periodo postcombustión: En este tiempo se deja de inyectar el combustible, mientras los gases de escape se expanden. Hay que tomar en consideración que el incremento de este periodo provoca el aumento de la temperatura de los gases de escape, reduciéndose así la potencia que hace girar el motor, por tales razones este periodo debe ser breve.

### **2.2.6 COMBUSTION NORMAL**

El aire ingresa al interior del cilindro donde es comprimido, alcanzando una temperatura de aproximadamente 600°C, al finalizar esta, el inyector alimenta el combustible atomizado al interior del cilindro y se inflama inmediatamente a causa de la temperatura del aire, extendiéndose así en toda la mezcla, incrementándose la presión en el interior del cilindro.

### **2.2.7 COMBUSTION ANORMAL**

La realidad presenta una serie de dificultades en la combustión que se puede deber a ciertos aspectos tales como: la composición del combustible, tamaño y forma de la cámara de combustión, que generan ciertos problemas de encendido superficial y autoencendido en los motores diesel.

El encendido superficial se debe la mayoría de las veces a la presencia de puntos calientes dentro de la cámara de combustión por ejemplo en el asiento de la válvula de escape, lo que produce pérdida de potencia, funcionando con mucho ruido e irregularidades en la marcha, esto se evita mejorando la refrigeración del motor y evitando que se forme depósitos carbonosos, mientras que el autoencendido se da al producirse la detonación de la mezcla en la cámara, esto incide en el sistema de refrigeración, ya que imposibilita y no puede eliminar todo el calor producido, causando calentamientos excesivos.

### **2.2.8 GOLPETEO DIESEL**

El incremento rápido de la presión durante el periodo de la combustión incontrolada o periodo de propagación de la llama, produce una onda de impacto que se transmite a través de toda la cámara de combustión.

Esta onda se debe o está influida por los siguientes aspectos:

- El incremento de presión durante el periodo de propagación de la llama, que depende exclusivamente de la cantidad de combustible inyectado durante el periodo de retraso de encendido. Como solución para este problema se tiene la inyección piloto que mantiene a un nivel constante en un comienzo la inyección hasta terminar el periodo de retraso y luego se aumenta la presión a nivel normal.
- El tiempo que se demora la presión en aumentar, si este es demasiado lento, el efecto de impacto será menor y este golpeteo se reduce.
- La temperatura, la presión y atomización.
- La velocidad de giro del motor
- Depende del número de cetano para verificar que combustibles son más propensos a realizar este golpeteo

## **2.3 CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

### **2.3.1 DISEÑO DE LAS CÁMARAS DE COMBUSTIÓN**

La cámara de combustión es el espacio formado por la culata y la cabeza del pistón, en el cual el inyector atomiza el combustible. Para asegurarse de que todo el combustible es quemado se emplean distintos tipos de cámaras que deben realizar ciertas funciones tales como:

- Producir elevadas presiones de compresión necesarias para ocasionar las altas temperaturas para producir la ignición.
- Permitir que todo el combustible inyectado se mezcle adecuadamente con el aire para obtener una combustión completa.

La cámara de combustión debe diseñarse de tal manera que genere la máxima turbulencia posible, no solo durante la inyección, sino también durante la combustión,

La máxima turbulencia es necesaria por las siguientes razones:

- Para que la mezcla aire-diesel sea completo.
- Proporcionar continuamente partículas de aire al combustible que se está quemando.
- Para eliminar el gas quemado de la zona de inyección

Existen dos tipos básicos de cámaras de combustión:

- Cámara de combustión abierta o inyección directa



- Cámara de combustión de torbellino de compresión o de inyección indirecta, y que son del tipo:
  - Cámara de turbulencia
  - Cámara de celdas de aire
  - Cámara de precombustión o precámara

### **2.3.2 INYECCION DIRECTA**

Actualmente para motores de alta velocidad tienen una inclinación por los motores con cámara de combustión abierta o llamada también como de inyección directa, que consiste en una pequeña cámara de combustión en la culata o en una culata lisa y una cavidad perfilada en la cabeza del pistón, siendo una superficie comparativamente pequeña que tiene como resultado baja pérdida del calor gran eficiencia térmica y mejor consumo de combustible. La principal característica es que el combustible es introducido directamente a la cámara de combustión. La distancia entre la culata y la cabeza del pistón es mínima asegurándose una buena turbulencia y combustión. Ver figura 2.1.

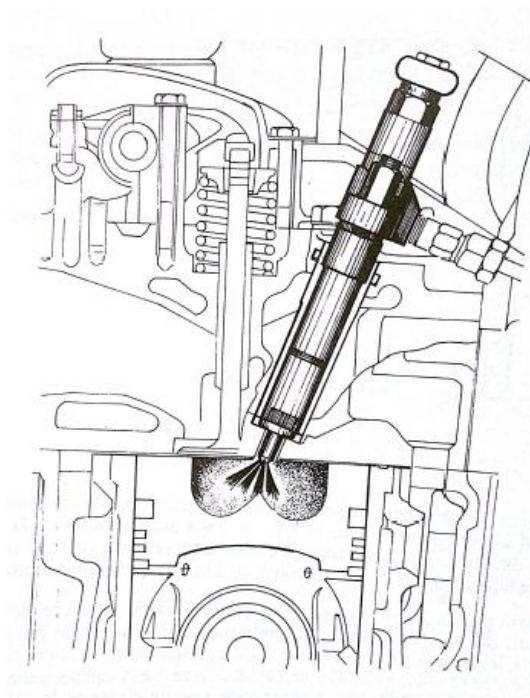
#### **2.4.2.1 Ventajas de las cámaras de inyección directa**

- Debido a que el área de superficie de la cámara es reducida, se reduce la pérdida de calor por el sistema de refrigeración, presentando una elevada eficiencia térmica.
- Debido a la baja pérdida de calor el aire ya comprimido se mantiene muy caliente, dando una buena capacidad de arranque en frío sin necesidad de utilizar calentadores.

- Por las bajas pérdidas de calor se puede utilizar bajas relaciones de compresión sin que disminuya su rendimiento o capacidad de encendido con una excelente combustión.

#### **2.3.2.2 Inconvenientes en la cámara de combustión directa.**

- Existen frecuentes obstrucciones en los orificios de salida en los inyectores ya que al contar este con varios agujeros pequeños en la mayoría de los casos y no con uno grande se acumulan sedimentos de carbono frecuentemente.
- Debido a que el combustible debe mezclarse adecuadamente con el aire comprimido son necesarias las elevadas presiones de inyección, implicando mantener un sistema de inyección de alto rendimiento y calidad.
- La turbulencia de aire depende de la velocidad de giro del motor esto quiere decir que a bajas velocidades la mezcla será insuficiente ya que existe una turbulencia de aire limitada. Ver figura 2.9



**Figura 2. 9:** Cámara de combustión de inyección Directa

**(Alan Asmus & Wellinton, 1991)**

### **2.4.3 INYECCIÓN INDIRECTA**

Es este tipo de cámara el combustible no es inyectado directamente a la cámara de combustión sino a una cámara por separado donde se produce la ignición, esta cámara pequeña está conectada a la cámara principal de modo que al iniciar la combustión en la cámara pequeña avanza de inmediato a la cámara principal, mejorando la combustión.

Se utilizan diversos diseños referentes a las cámaras de combustión a las cuales las podemos llamar como: cámaras de turbulencia, celdas de aire y cámaras de precombustión.

### **2.3.3.1 Cámaras de turbulencia**

Se utilizan para mezclar mejor el aire y combustible, siendo la cantidad de aire necesario para completar con la combustión menor por consiguiente el combustible es bajo.

El consumo específico que da en este tipo de cámaras oscilan entre 180-210 gr/CV-h

### **2.3.3.2 Cámaras de celdas de aire**

Conocidas también como celdas de energía están formados por dos partes que son:

- La cámara de reserva de aire A que representa dos tercios del volumen total
- La cámara principal B que se comunica con la anterior por medio de un canal en forma de venturi y queda localizada en la parte de la culata y otra en el cilindro

El inyector va montado en la cámara principal y no en la auxiliar como en los casos anteriores de tal manera que parte del chorro se dirige hacia la desembocadura de la cámara de la celda de aire, donde esta se comprime y reduce en la cámara auxiliar en el tiempo de compresión.

Tiene un consumo específico de aproximadamente de 190 gr/CV-h

Las cámaras de celda de aire junto con las de turbulencias y las de precombustión son más adecuadas para motores de pequeña cilindrada que las

de inyección directa, esto conlleva que la complejidad de la fabricación de las culatas sea elevada además no refrigerada ya que es imprescindible mantener la alta temperatura para la buena combustión del diesel inyectado.

### **2.3.3.3 Cámaras de Pre combustión**

Es una pequeña cámara auxiliar situada en la culata del motor y conectada directamente con la cámara de combustión principal mediante un pequeño conducto, que cuando el pistón sube al punto muerto superior entre un 35 a 40% del aire comprimido es desplazado hasta la cámara de precombustión, se realiza la inyección y se inicia quemándose aproximadamente la mitad del combustible en la cámara de pre combustión y luego se quema totalmente en la cámara de combustión principal, el diesel golpea con menor frecuencia reduciendo el nivel de ruido del motor, la presión de la inyección es baja, el combustible se puede mezclar bien con el aire de admisión. Existe una restricción del paso de aire de admisión retardando la elevación de la presión de la cámara de precombustión, el área de mayor superficie de esta causa una pérdida de calor y reduce la temperatura de compresión, razones por el cual se requiere de una bujía incandescente para arrancar. Se requiere mayor cantidad de combustible debido a que hay muchas pérdidas de energía térmica y alcanza el orden de consumo específico de 190 a 230 gr/CV-h.

### **2.3.3.4 Ventajas de la cámara de Precombustión**

- La boquilla de clavija utilizada normalmente en los inyectores presenta un orificio relativamente grande con lo que se elimina o reduce las obstrucciones que se dan por culpa de los sedimentos de carbono.

- Las presiones de inyección son más bajas ya que el combustible no debe estar atomizado en partículas tan pequeñas como es en el caso de la inyección directa.
- Debido a la elevada turbulencia y mezcla entre el aire comprimido y el combustible en este tipo de cámaras de combustión no requiere de un combustible de alta calidad.
- El funcionamiento del motor es suave debido a que la presión máxima del cilindro durante la combustión es baja.

#### **2.3.3.5 Desventajas de la cámara de precombustión**

- La pérdida de calor del aire comprimido por el conducto estrecho hasta la cámara es considerable y en general los motores que utilizan esta precámara tiene una baja eficiencia térmica y gastan mayor cantidad de combustible
- Debido a la pérdida de calor se debe utilizar presiones elevadas para mantener la temperatura necesaria en el aire para que se realice un encendido eficaz.

## **2.4 MOTORES DIESEL**

Según el sitio donde se produce la combustión se clasifican en de combustión externa e interna.

## 2.4.1 COMBUSTIÓN INTERNA A DIESEL

Antes de explicar el proceso de combustión interna es importante recalcar los elementos que componen el motor, mismos que se los clasifican en diferentes sistemas de acuerdo a la función que realizan para el funcionamiento del motor. Estos sistemas son los siguientes:

- Elementos fijos del motor
- Tren alternativo
- Distribución
- Sistema de lubricación
- Sistema de enfriamiento
- Admisión y escape
- Sistema de combustible

Un motor diesel funciona mediante la ignición de la mezcla aire-diesel sin chispa. La temperatura que inicia la combustión eleva la presión que se produce en el segundo tiempo del motor que es la compresión. El combustible diesel se inyecta en la parte superior de la cámara de compresión a gran presión, de manera que se atomiza y se mezcla con el aire a alta temperatura y presión, esta combustión ocasiona que el gas contenido en la cámara se expanda impulsando el pistón hacia abajo. La biela se encarga de transmitir este movimiento al cigüeñal, haciéndolo girar, transformando el movimiento lineal del pistón en un movimiento de rotación

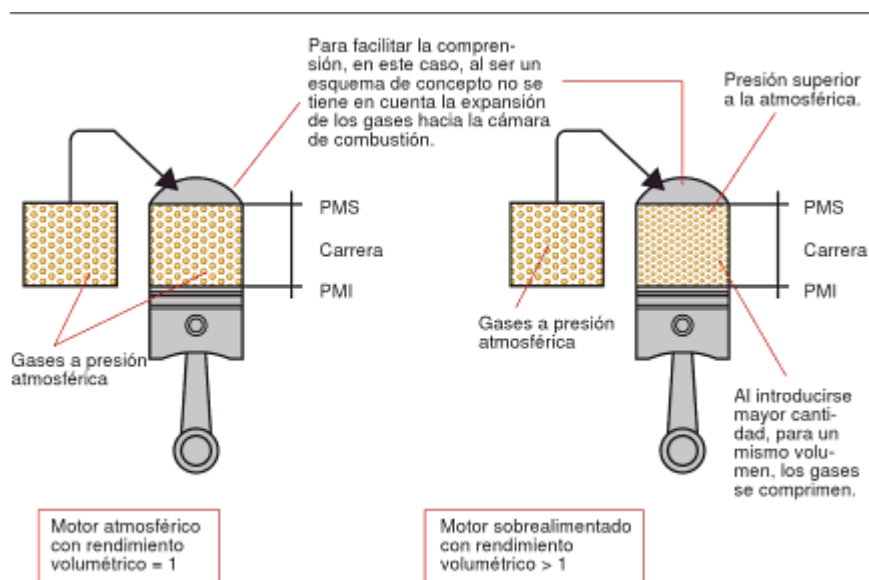
### 2.4.1.1 Motores atmosféricos a diesel

Los motores atmosféricos son aquellos que no tienen ningún sistema de sobrealimentación, por lo tanto toma el aire a la misma presión de la atmosfera, la mayoría de los motores son atmosféricos ya que no tienen ningún sistema o

elemento que ayude a incrementar la presión de aire de admisión por encima de la atmosférica.

### 2.4.1.2 Sobrealimentados

La sobrealimentación de los motores consiste en incrementar el llenado de los motores, de tal forma que su coeficiente de llenado o rendimiento volumétrico sea superior a la unidad. En cierto modo es comparable al aumento de la cilindrada, puesto que se admite una mayor cantidad de aire. Ver figura 2.10. (Bello, 2011)



**Figura: 2.10** Sobrealimentación

(Bello, 2011)

La aparición de la sobrealimentación se debe al objetivo de conseguir aumentar el par motor y la potencia del vehículo sin variar la cilindrada ni el régimen del



motor, elevando la presión media efectiva del cilindro del motor, esto se logra colocando en el interior del cilindro un volumen de aire mayor del que entra normalmente (atmosféricos), incluso en condiciones adversas cuando hay baja presión y la mezcla que se introduce al motor es menor, como ocurre en zonas montañosas o zonas de altas temperaturas. Logrando mantener su potencia.

Al introducir un exceso de aire en el cilindro aumenta la compresión, lo que facilita el encendido y el quemado completo del combustible inyectado, lo que se traduce en un aumento de potencia.

Estos motores sobrealimentados pueden conseguir hasta un 40% más de potencia que de un motor de iguales características no sobrealimentado, estos incrementos se debe tomar en cuenta para evitar sobrecalentamientos posibles o presiones y temperaturas excesivas de encendido en la cámara de combustión provocada por la alta capacidad de entrega de aire y presión.

El trabajo de sobrealimentación es realizado por un compresor que es el encargado de tomar el aire a la presión atmosférica y comprimirlo para conseguir una sobrepresión en la fase de admisión:

Los compresores se pueden clasificar de la siguiente manera:

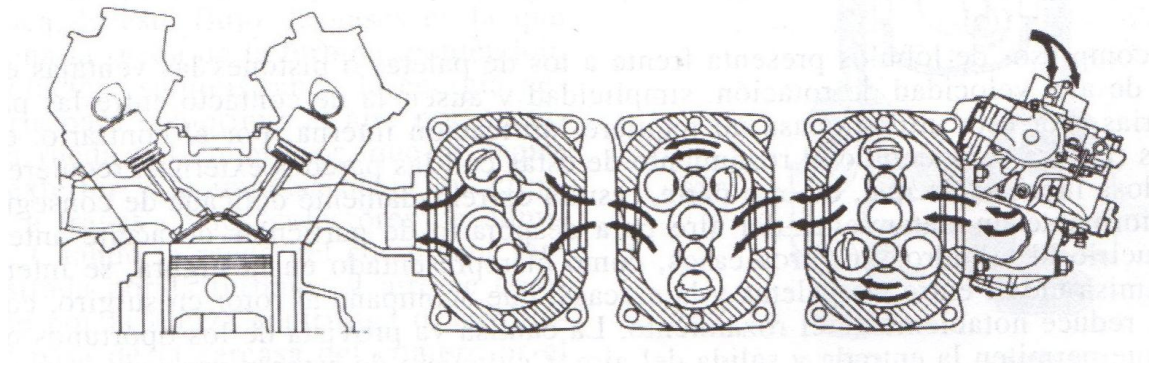
Turbocompresores: De tipo centrífugo, se denominan como turbo y aprovechan la fuerza de los gases de escape para accionarse.

#### **2.4.2 COMPRESORES VOLUMÉTRICOS**

Es un compresor mecánico que van accionados de manera mecánica por el cigüeñal del motor por medio de bandas o engranajes. Una de las ventajas es que trabaja a bajas revoluciones del motor, mientras que la principal desventaja es que resta en un inicio par o fuerza al motor para que comience su

funcionamiento, aunque cuando sube el número de revoluciones es muy superior. Se debe tener mucho cuidado con el desgaste por lo que son recomendables que trabajen en revoluciones medias ni tan altas ni tan bajas. Ver figura 2.2.

Compresores de ondas a presión: Los gases de escape son los encargados de transmitir por contacto directo con el flujo de admisión mediante ondas de presión generadas por paredes radiales de un tambor que gira gracias a una conexión directa con el cigüeñal, aprovechando los principios del turbocompresor y el compresor volumétrico. Estos compresores funcionan adecuadamente en los motores diesel pero presentan desventajas como su complejidad mecánica, exceso de ruido y alto costos de fabricación. Ver figura 2.11



**Figura 2.11** Compresor volumétrico

**(Alonso, 2001)**

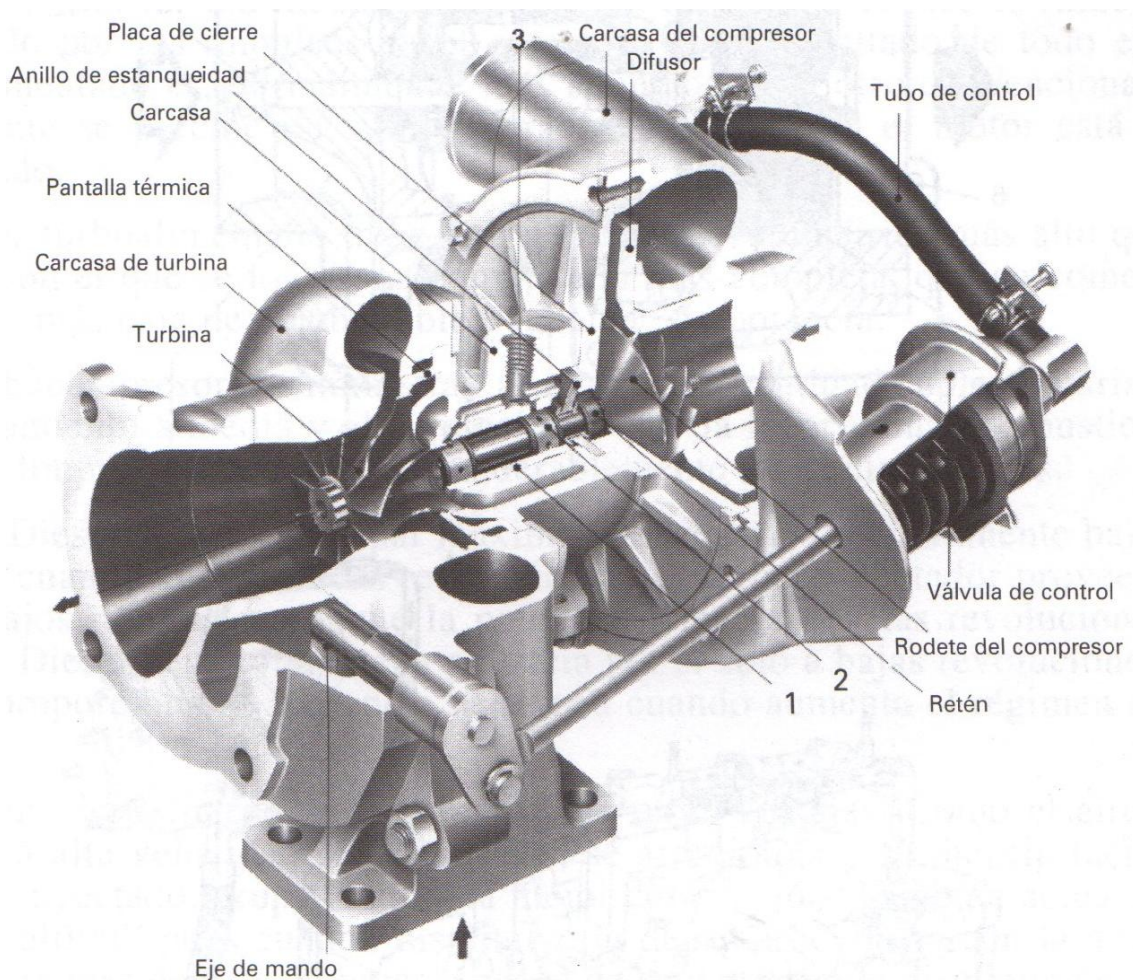
### **24.3 TURBOALIMENTADOS**

El turbocompresor de gases de escape es el dispositivo más eficaz para sobrealimentar los motores empleados en los automóviles, pues el balance económico de funcionamiento logrado con ellos resulta netamente favorable, ya

que la potencia sustraída al motor para lograr su funcionamiento, es solamente la correspondiente al ligero aumento de la contrapresión de escape. (Alonso, 2001)

El turbocompresor esta compuesto esencialmentepor una turbina y un compresor, cuyos rodetes estan montados sobre el mismo eje y alojados cada uno de ellos en una carcasa independiente. La turbina recibe los gases de escapedel motor, que salen del cilindro a elevada temperatura. La presion y energia termica de este fluo de gases es la que acciona la rueda de la turbina, poniendola en rotacion, suministrando la energia necesaria para comprimir el aire por medio de la rueda del compresr , que lo aspira del exterior y lo impulsa hacia los cilindrosa travez de los colectoresde admision. Cuando la rueda del compresor gira arrastrada por la turbina , el aire se comprime por la fuerza centrifuga desarrollada y pasa de la carcasa del compresor al colector de admision, siendo la cantidad y la presion del aire proporcionales a la velocidad de rotacion. (Alonso, 2001)

Este compresor está ubicado en la entrada del colector o múltiple de admisión, trasmitiéndole el movimiento mediante el eje, el compresor eleva la presión del aire que entra a través del filtro y consigue que mejore la alimentación del motor. Los gases de escape inciden en los impellers de la turbina, llegándose a obtener hasta 300.000 rpm, y a temperaturas elevadas de 750°C por lo que hay que tener especialmente cuidado con la lubricación de los cojinetes que apoya el eje común, la presión de este sistema está limitada por una válvula de descarga (neumática o electrónica) la misma que abre un conducto y desvía los gases de escape. Ver figura 2.12

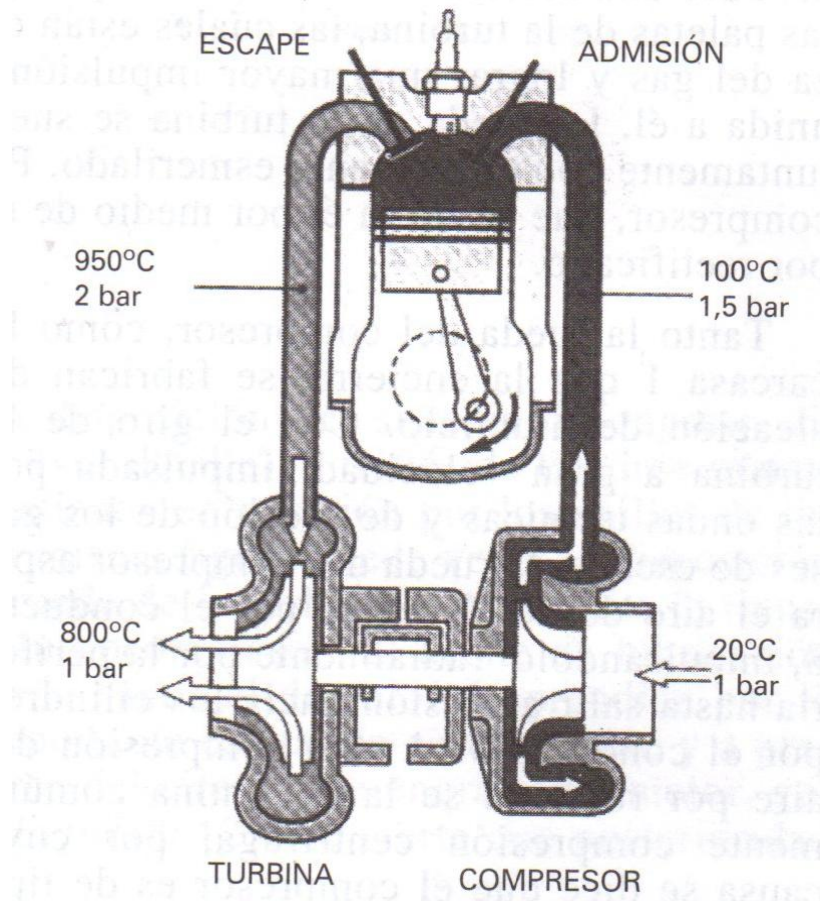


**Figura 2. 12:** Turbocompresor

(Alonso, 2001)

Es importante que la turbina se encuentre lo más cerca posible del múltiple de escape y que sea capaz de resistir temperaturas extremadamente altas, debido a que los gases de escape contienen mayor energía térmica y velocidad, al encontrarse más cerca de este. Para una situación más alejada, los gases de escape están más fríos y tienen menor velocidad, con lo cual la turbina no gira tan deprisa. En la figura 2.5 podemos apreciar la disposición del compresor

como además a las temperaturas y presiones que este se encuentra sometido en su trabajo. Ver figura 2.13



**Figura 2. 13:** Turbocompresor- Funcionamiento básico del Turbocompresor

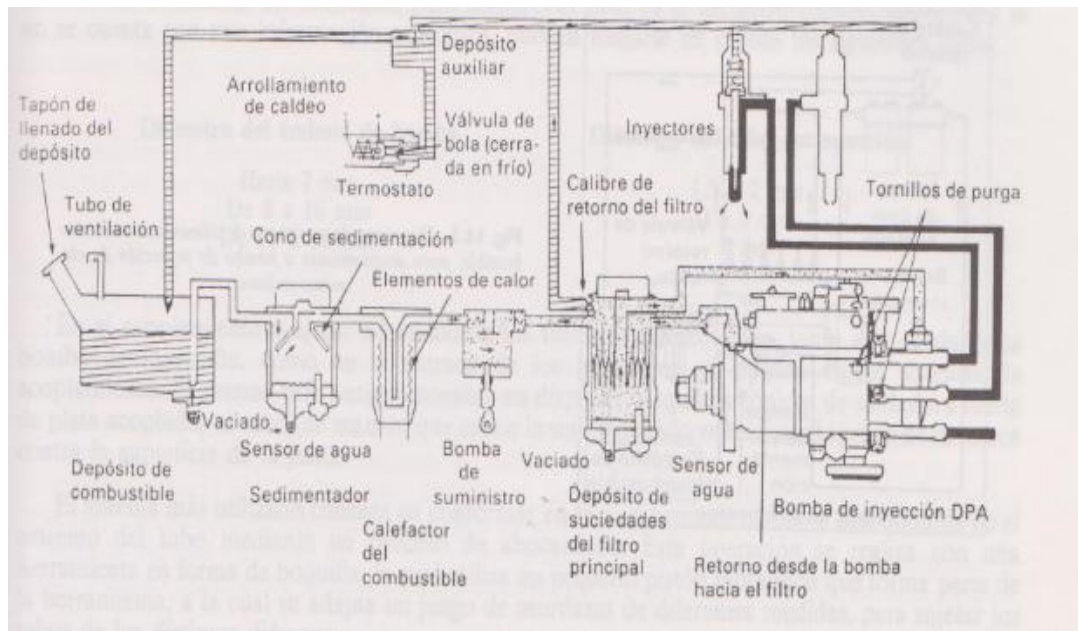
**(Alonso, 2001)**

## **2.5 SISTEMA DE ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE**

Los vehículos utilizan un sistema de alimentación por presión, donde la bomba de alimentación accionada mecánicamente asegura una presión constante de alimentación de combustible, a la bomba de inyección. Ver figura: 2.9

El depósito del combustible debe estar perfectamente acondicionado, con una adecuada geometría que permita realizar la decantación o separación de partículas extrañas y sean purgadas por una válvula de vaciado mientras que el lado de aspirado tomar las precauciones de la colocación del mallado para evitar cualquier impureza.

La bomba mecánica de alimentación que es la encargada de succionar el combustible desde el depósito de combustible pasa por el sistema de filtrado, calentamiento etc., hacia la conexión de entrada de la bomba de inyección, en la cual se aumenta aún más la presión del combustible, dirigiéndola por los tubos de alta presión hasta los inyectores que pulverizan el combustible en el interior de las cámaras de combustión. Ver figura 2.14



**Figura 2. 14:** Diagrama esquemática de un sistema de alimentación por presión

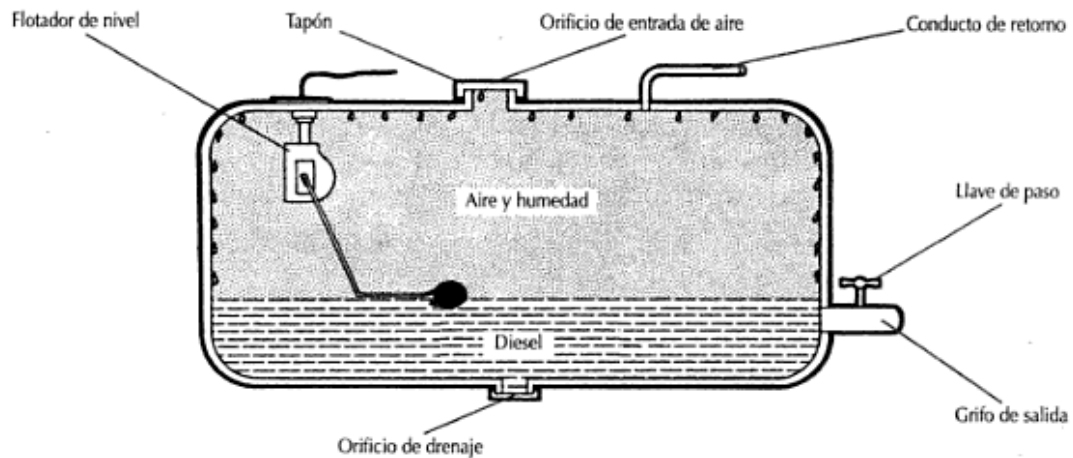
(Alan Asmus & Wellinton, 1991)

### 2.7.1 DEPOSITO

El depósito de combustible es aquel de donde se aloja el combustible, y de donde la bomba lo toma para ser utilizado en el proceso de combustión, y al cual va a retorna el combustible que no fue combustionado mediante cañerías de retorno. El tanque debe cumplir con ciertas características, en especial si hablamos de tanques de combustible para vehículos a diesel, ya que estos deben tener mayor capacidad de almacenaje.

Normalmente un depósito de combustible debe contar con las siguientes características: ver figura 2.15

- Almacenamiento seguro de combustible.
- El relleno debe ser sin riesgos (ej. chispas).
- Almacenamiento sin pérdidas por escape o evaporación.
- Proveer de un método para determinar el nivel de combustible en el depósito en todo momento. Para ello se usa un indicador del nivel de combustible.
- Venting (en caso de sobrepresión los vapores de combustible deben ser desviados por medio de válvulas).
- Alimentación del motor (por medio de una bomba).
- Anticipar posibles daños y riesgos para aumentar el potencial de sobrevivir.



**Figura: 2.15:** Diagrama esquemática de un depósito de combustible

(Chavez, 2004)

## 2.7.2 TUBOS DE COMBUSTIBLE

En todo el sistema de inyección de combustible existen distintos tipos de cañerías, empezando por el tanque de combustible, en donde tenemos la cañería que se encarga de tomar el combustible desde el tanque y llevarlo a baja presión hasta la bomba de inyección, y la otra que es de retorno, que lleva el combustible no utilizado desde la bomba hacia el tanque, esto en lo que respecta a la primera etapa, la segunda etapa de cañería es la que va desde la bomba de inyección hasta cada uno de los inyectores, para ello cave recalcar que la presión del combustible ya se encuentra elevada, por lo que las cañerías deben ser diseñadas para soportar altas presiones. La otra parte es la que retorna el combustible no utilizado desde los inyectores hasta la bomba de inyección. Ver tabla 2.2



Hace mucho tiempo las tuberías utilizadas con este fin eran de cobre pero al notar que reacciona con ciertos compuestos sulfúricos del diesel formando deposito grasos que incrementan la presión de los fluidos al taponar las tuberías, por tal razón han sido sustituidos por los de acero y manguitos de caucho flexible.

**Tabla 2.2:** Diámetros de tuberías de alimentación a bombas inyectoras

Tubos de alimentación (diámetro)	Diámetro de émbolos de las bombas de inyección
8 mm	11 mm
10 mm	12-15 mm
13-14 mm	15-17 mm

Para las tuberías de retorno de combustible tienen un diámetro aproximado de 4.54 mm. Las tuberías que salen de la bomba e ingresan a los inyectores se debe tener en cuenta la presión de trabajo que es aproximadamente los 70 MPa, utilizándose tuberías sin costuras, destemplado.

Cuando se requiera realizar el cambio de los conductos de alimentación de combustible desde la bomba al inyector se debe consultar el manual del fabricante para determinar cuál es el diámetro recomendado manteniendo la misma longitud. Ver tabla 2.3

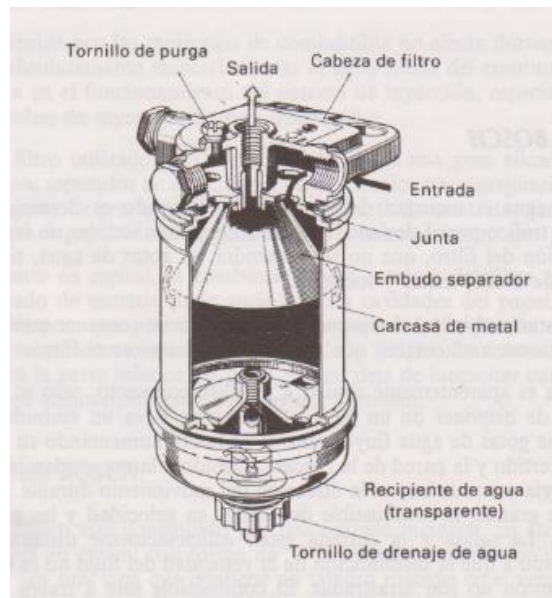
**Tabla 2.3:** Dimensionamiento de conductos de alta presión, bombas-inyector

Diámetro del embolo de bomba	Diámetro del tubo de inyección
Hasta 7 mm	1,5 a 2 mm
De 8 a 10 mm	2 a 3 mm
De 11 a 18 mm	3 mm

**(Alan Asmus & Wellinton, 1991)**

### 2.5.3 FILTROS

La principal función de los filtros es la retención de contaminantes, la separación de agua para evitar su circulación por el motor causando problemas y daños. La eficacia con la que se filtra se controla por el tamaño de los poros y material del filtro es decir mientras más pequeños sean los poros mejor será la acción del filtrado pero hay que tener en cuenta que puede reducir el caudal de circulación del fluido y se puede taponar fácilmente. Un filtro debe ser cambiado periódicamente. Entre los filtros más utilizados y más eficaces son los fabricados en papel impregnado en resina. Ver figura 2.16



**Figura 2. 16:** Separador de Agua con cabeza de filtro

(Alan Asmus & Wellinton, 1991)

Es importante realizar el mantenimiento de los filtros por ejemplo cuando llevan acoplados un tapón de drenaje, se debe quitar periódicamente para permitir el drenaje del sedimento y el agua acumulados.

Actualmente se considera a un sistema progresivo de filtros como el mejor sistema de eliminación de partículas extrañas, en el cual el primer filtro extrae las partículas más grandes o extrae agua y el segundo las más pequeñas que están entre los 2 a 4 micras de tamaño. Un sistema de inyección ya puede ser afectado tranquilamente con partículas entre 6 a 12 micras de tamaño.

También es importante mencionar a los filtros de autopurga, que tiene un pequeño orificio de restricción, o una válvula de descarga de presión situada en la parte superior de la misma que direcciona una pequeña cantidad de combustible o aire acumulado por la vía de retorno al depósito

### **2.5.3.1 Filtros de inyector**

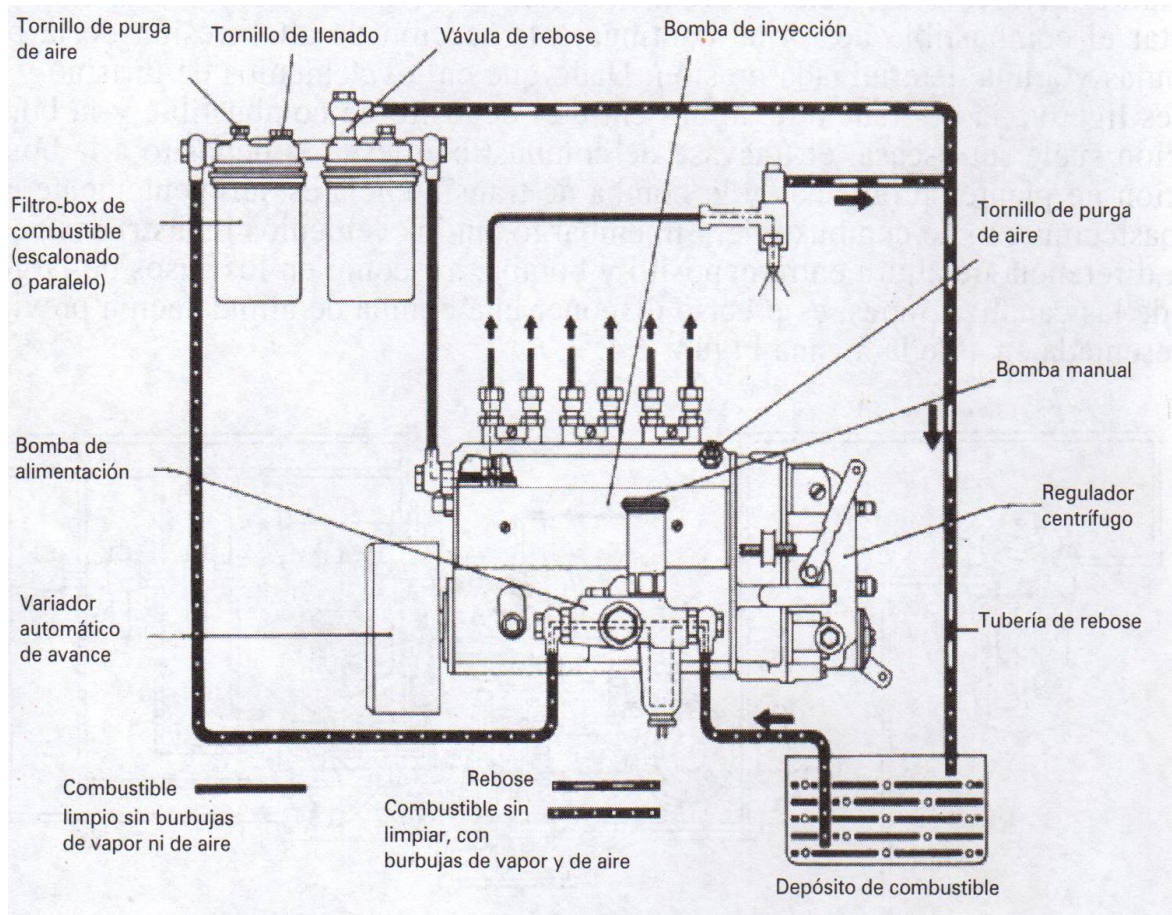
En ciertos casos los fabricantes incluyen un filtro en la conexión del inyector, que son como una masa de bronce muy delgada, situada entre el adaptador del inyector y la carcasa, siendo los más utilizados los filtros de reborde, que consiste en una barra endurecida instalada en el interior de un adaptador cilíndrico, emplazado en la entrada del inyector, la cual dispone cuatro ranuras longitudinales que inician en la admisión que presenta poca holgura y donde se retiene los sedimentos antes de ingresar al inyector.

### **2.5.4 ALIMENTACION DE COMBUSTIBLE**

El sistema o circuito de alimentación de combustible tiene la misión de hacer llegar el combustible desde el depósito donde se encuentra almacenado hasta la bomba de inyección, que lo presurizara y enviara a cada uno de los cilindros del motor, inyectándolo en momentos oportunos. El sistema de inyección puede dividirse en dos partes fundamentales. (Alonso, 2001)

Circuitos de alta presión: Es el encargado de elevar la presión del combustible para ser ingresado a la cámara de combustión.

Circuito de baja presión: o Bomba de alimentación es el sistema encargado de enviar el combustible desde el tanque de almacenamiento hasta la bomba de inyección. Ver figura 2.17



**Figura 2. 17:** Sistema de alimentación Diesel

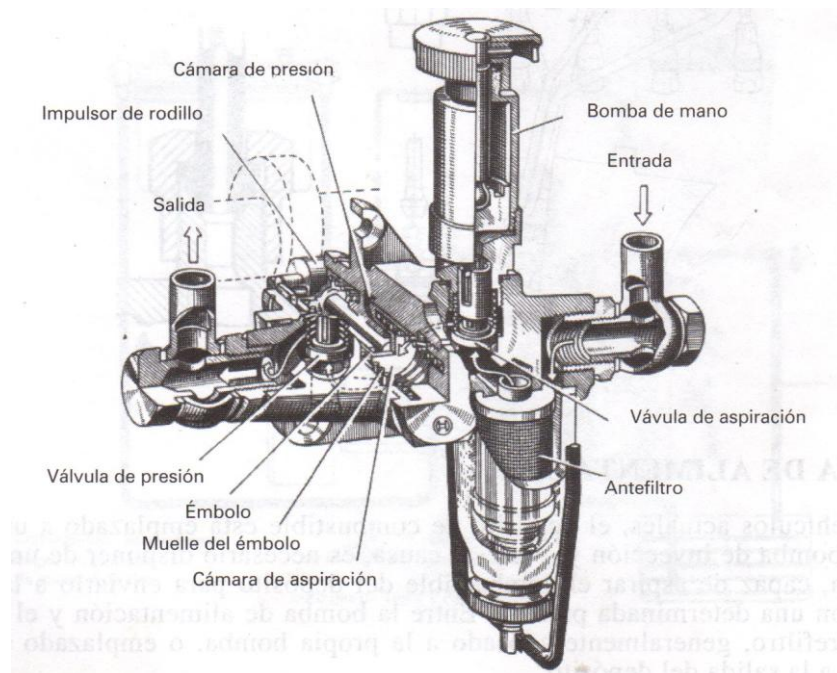
(Alonso, 2001)

### 2.5.5 BOMBA DE ALIMENTACION

Debido a la disposición a la que se encuentra el tanque de combustible en los vehículos, es necesario que el sistema de inyección conste de una bomba de alimentación capaz de aspirar el combustible del depósito para enviárselo a la bamba de inyección.

Generalmente la bomba de alimentación esta provista de una bomba de cebado con la cual se puede llenar y purgar todo el circuito.

En los sistemas que disponen de bomba de inyección de elementos en línea, se utilizan preferentemente las bombas de alimentación del tipo pistón, ver figura 2.0 compuesta por un cilindro en el que se aloja un embolo con muelle antagonista y empujador de rodillo, que esta accionado por el árbol de levas de la bomba de inyección. La cámara de presión esta provista de sendas válvulas de entrada y de salida de combustible. Ver figura 2.18 (Alonso, 2001)



**Figura: 2.18.** Bomba de alimentación

(Alonso, 2001)

## 2.6 BOMBAS DE INYECCIÓN

La pulverización adecuada en los motores diesel modernos se consigue mediante unas bombas de impulsión de combustible, donde el empujador del rodillo por la leva, empuja al embolo que eleva la presión del combustible, esta

válvula se levanta cuando la presión es suficiente para la inyección, al ceder el resorte y el combustible pasa al inyector por el tubo de alimentación que une a estos dos elementos teniendo la resistencia adecuada para soportar las altas presiones para un buen funcionamiento del motor.

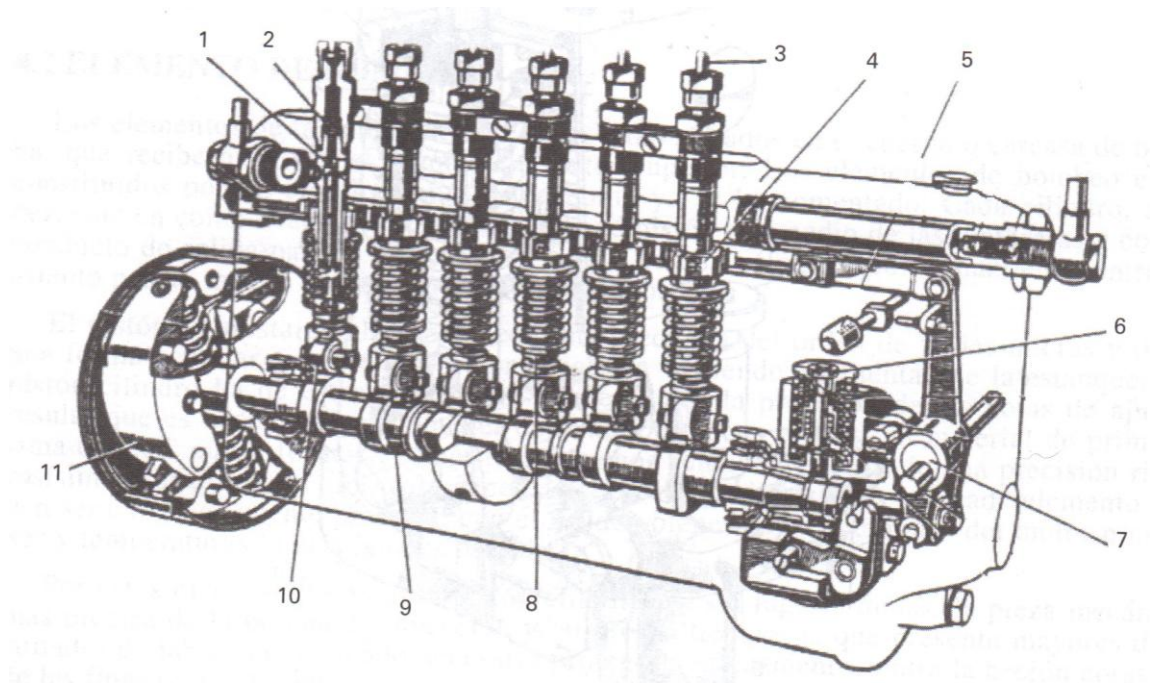
### **2.6.1 BOMBA DE INYECCION DE ELEMENTOS EN LINEA**

Las bombas de inyección de elementos en línea son del tipo volumétrico y disponen de un número de elementos de bombeo igual al de cilindros en el motor, cada uno de los cuales está constituido por un embolo de carrera total constante, pero con carrera de trabajo regulable en la figura 2.00 se muestra la estructura y componentes de este tipo de bomba. Cada uno de los elementos de bombeo 1 se aloja en la carcasa de la bomba y son accionados por el árbol de levas 9 de la misma manera, por medio de un impulsor de rodillo 10, contra la fuerza del muelle antagonista 8. El árbol de levas está alojado en la zona inferior o cárter inferior de la carcasa de la bomba, y tiene tantas levas como cilindros el motor y gira a mitad del régimen de este, de manera que en dos vueltas completas del cigüeñal se produzca una inyección en cada cilindro del motor.

Una cremallera de control 5 engrana con los sectores 4 de cada uno de los pistones de bombeo para hacerlos girar y regular, así el caudal de combustible inyectado. Por encima del elemento de bombeo se dispone una válvula de retención 2 a la que conecta el tubo de suministro 3 que lleva el diesel a presión a cada inyector.

Acoplado a uno de los extremos del árbol de levas se encuentra el mecanismo regulador de velocidad 6 y el sistema de palancas de mando 7 del acelerador. En el extremo opuesto del árbol de levas se dispone el mecanismo automático

11 de avance de la inyección. El conjunto de árbol de levas y rodillos empujadores esta sumergido en aceite que se deposita en el cárter inferior de la bomba de inyección. Ver figura 2.19



**Figura 2.19** Bomba de inyección en línea

(Alonso, 2001)

El combustible se hace llegar desde la bomba de alimentación hasta una cámara de aspiración, desde la cual entra al cilindro del elemento de bombeo para ser enviado en el momento preciso al correspondiente inyector, atreves de la válvula y tubería de presión en la figura 2.00 puede verse el desplazamiento de la bomba de alimentación B, en un lateral del cárter inferior de bomba, para recibir movimiento del mismo árbol de levas de la bomba de inyección por medio de una excéntrica labrada en el.

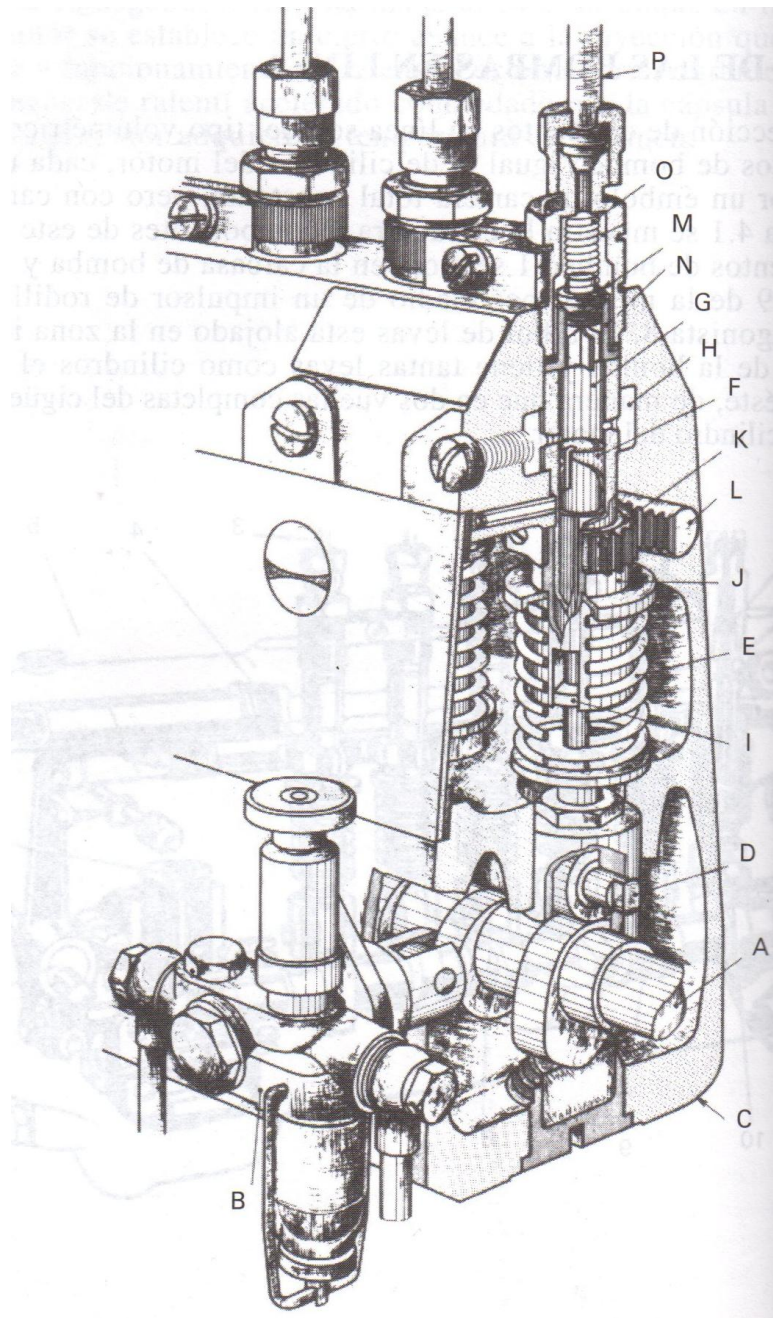


Cada una de las levas del árbol A, alojado en el cárter inferior C, acciona un empujador o taque D, que por medio de un rodillo se aplica contra la leva, obligado por el muelle E. el empujador D, a su vez da movimiento al embolo F, que se desliza en el interior del cilindro G, que comunica por medio de unos orificios laterales llamados lumbreras, con la canalización H, a la que llega el Diesel procedente de la bomba de alimentación.

Además del movimiento de subida y de bajada del pistón, este puede girar un cierto ángulo sobre su eje vertical, ya que en la parte inferior dispone el saliente I, que encaja en el manguito cilíndrico J, que a su vez rodea al cilindro G, y que en su parte superior lleva adosada la corona dentada K, que engrana con la barra cremallera L. el movimiento longitudinal de esta barra cremallera hace girar a la corona dentada, quien comunica su giro al pistón por medio de el manguito cilíndrico J, encajado en su parte inferior en el saliente I, del pistón. La parte superior del cilindro esta cerrada por la válvula de retención M, que se mantiene aplicada contra su asiento N por la acción del muelle O.

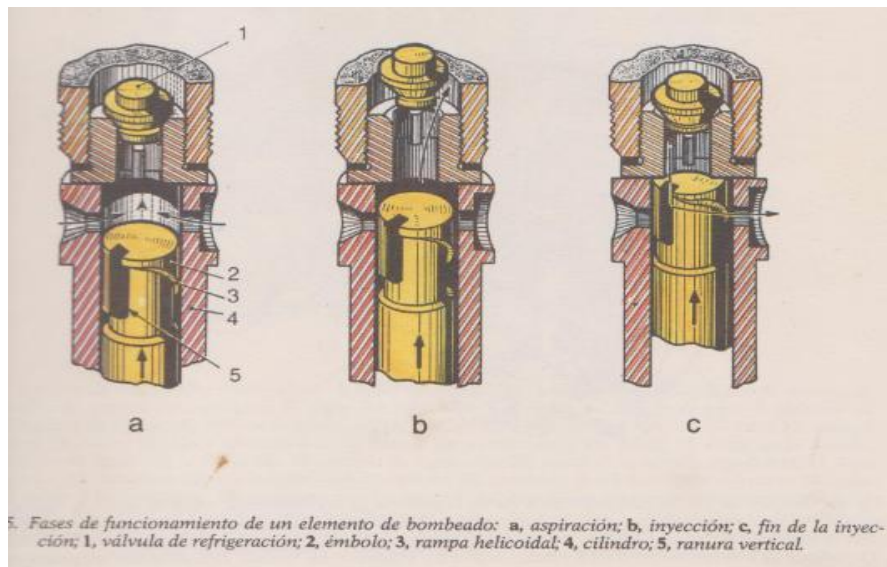
Cuando la leva presenta su saliente al empujador D, este a su vez impulsa al pistón F, haciéndole subir, con lo cual quedan tapadas las lumbreras del cilindro G, que comunicaban con la galería H, a la que llega el combustible. En estas condiciones, el Diesel encerrado en el cilindro es comprimido por el pistón, alcanzándose una determinada presión, que provoca la apertura de la válvula M, venciendo la acción del muelle O, en cuyo momento sale por ella el Diesel hacia el inyector. (Alonso, 2001)

Cuando ha pasado el saliente de leva, el impulsor D, baja por acción del muelle E, haciendo descender a su vez al embolo F, que vuelve a ocupar la misma posición, permitiendo nuevamente el llenado del cilindro. Ver figuras: 2..20 y 2.21



**Figura: 2.20** funcionamiento de la bomba de inyección en línea.

(Alonso, 2001)

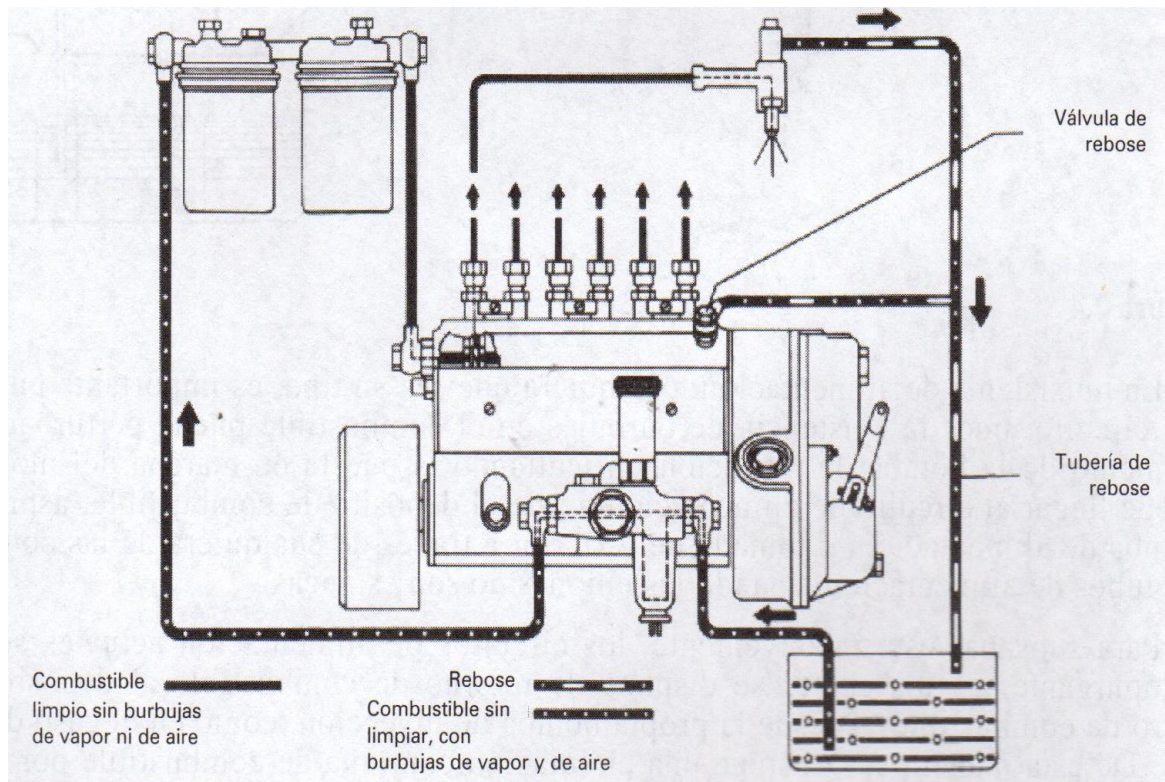


**Figura 2.2 4:** Fases de funcionamiento de un elemento de bombeo

**(Loopez, 1987)**

### 2.6.1.1 Retorno de las Bombas lineales de inyección

El retorno del combustible es algo muy importante, ya que de esta manera es como la bomba de inyección devuelve hacia el tanque de combustible todo el Diesel que lo se utilizo durante el proceso de empuje de los elementos hacia cada uno de los inyectores, en la figura 2.00 se puede apreciar como se produce el retorno del combustible no utilizado hacia el tanque. Ver figura 2.22



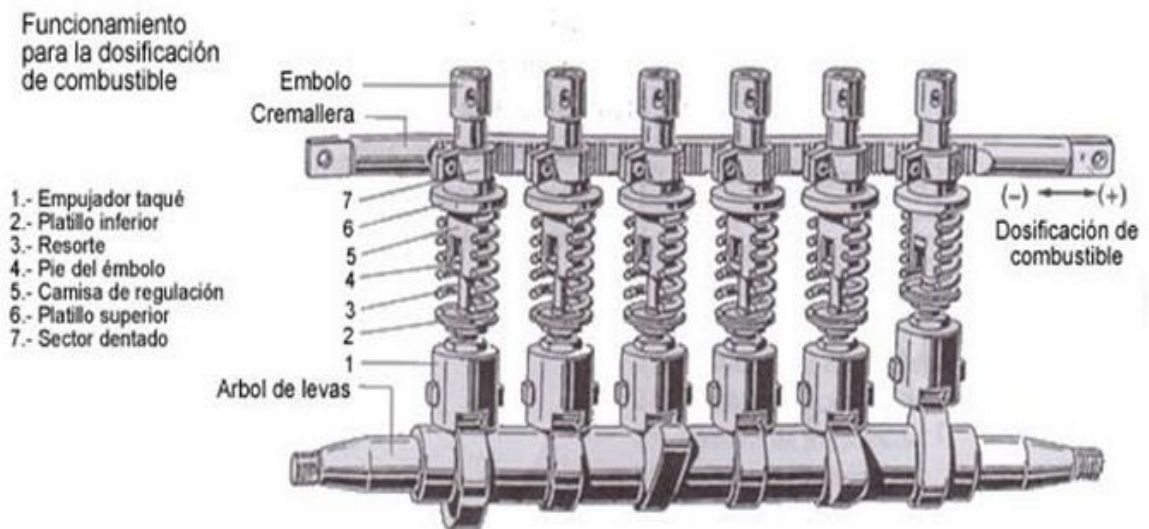
**Figura 2. 52:** Sistema de alimentación de combustible mediante una bomba de inyección lineal

**(Alonso, 2001)**

### 2.6.1.2 Funcionamiento interno de una bomba lineal

Estas bombas disponen de un elemento de bombeo para cada cilindro, de carrera total constante y de carrera de trabajo variable, estos émbolos están accionados mediante un sistema que consiste en un rodillo que se encuentra junto al muelle de la bomba que acciona una leva la misma que maniobra un taque, el empujador a su vez acciona el embolo en el interior del cilindro, que recibe el diesel a través de las canalizaciones al ser accionado el pistón este ejerce una presión sobre el combustible incrementando su presión la misma que debe vencer la fuerza de una válvula de retención que realiza la inyección

desde el cilindro hacia el inyector. La caída de presión en el sistema se obtiene cuando ha cesado la inyección desde el inyector, mientras se oprime el acelerador se mueve la cremallera y esta a su vez hace girar el helicoidal el cual suministra más cantidad de combustible inyectado y se debe a la carrera que realiza el pistón en el cilindro la misma que es regulada por este sistema de control, modificándose los tiempos de inyección del combustible, este sistema es accionada por el pedal del acelerador a través de una palanca, hay que tener muy en cuenta al variador de avance de la inyección ya que este sistema proporciona más rápidamente la inyección del combustible de la bomba al incrementar el avance de encendido. ver figura 2.23



**Figura 2. 26:** Funcionamiento de la dosificación del combustible en una bomba lineal

## 2.7 INYECTORES

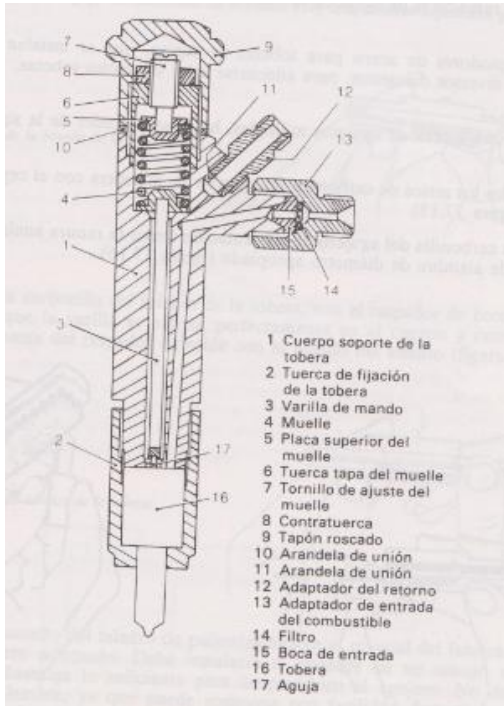
Normalmente los motores necesitan un inyector que funcione a presiones elevadas aproximadamente de 320MPa para inyectar pequeñas cantidades de combustible en un rango de 150-1500 inyecciones por minuto.

Las partes básicas de un inyector son:

El conjunto de tobera está formado por un cuerpo y una válvula de aguja o una válvula de boquilla. El cuerpo de la tobera presenta perforaciones en la parte superior que llevan a una cámara de presión donde se deposita el combustible, que se encuentra por encima de la válvula de aguja, mientras que en la parte inferior del cuerpo de la tobera esta una o más perforaciones que son las encargadas de suministrar el combustible a la cámara de combustión de cada uno de los cilindros del motor.

- Portainyector de acero: que se ajusta a la culata mediante un sistema de brida de sujeción, además presenta ciertas perforaciones que permiten el paso del combustible de admisión hacia el inyector, este elemento debe estar cuidadosamente rectificado y pulido en las partes de sujeción etc.
- Una tuerca de tapa de tobera que se atornilla en el extremo inferior del portainyector.
- Un muelle de compresión: es la encargada de mantener a la válvula de aguja en su asiento y soporta cargas elevadas.
- Un vástago de acero: Se encuentra ubicado entre la válvula de aguja y el muelle en el interior del soporte de la tobera que se encarga de transmitir la fuerza del muelle a la válvula.
- Mecanismo de ajuste del muelle: Es necesario para poder variar la fuerza del mismo.

- Tapón roscado de cierre: Esta acoplado al soporte de la tobera para evitar que entre cualquier partícula extraña o suciedad, en ciertos casos este tapón puede ser roscado para adaptar una conexión de retorno. Ver figura 2.25



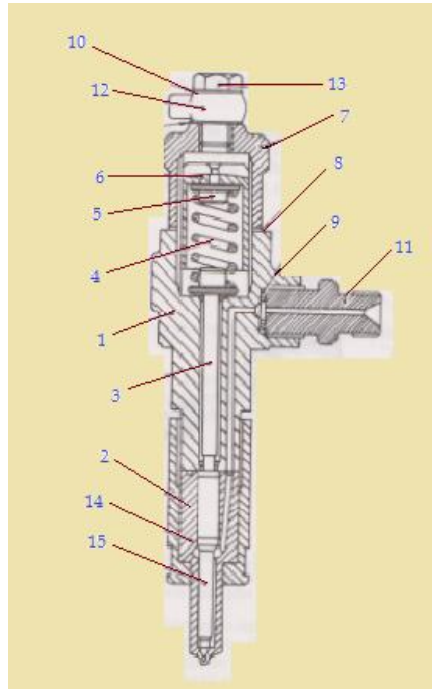
**Figura 2. 25:** Inyector con tornillo de ajuste del muelle

(Alan Asmus & Wellinton, 1991)

### 2.7.1 FUNCIONAMIENTO

El combustible suministrado por la bomba de inyección entra al soporte de la tobera siguiendo los conductos de admisión hasta la cámara de presión que está situada sobre el asiento de la válvula de aguja, cuando la presión del combustible en la cámara de presión aplica la fuerza necesaria al resalte de la válvula de aguja, para superar la fuerza del muelle, hace que la válvula se

levante del asiento, dejando que el combustible fluya por la tobera hacia la respectiva cámara de combustión hasta que termine la entrega de combustible y se vuelve a cerrar por la fuerza del muelle y al cerrar la presión de bombeo. Ver figura 2.26



- 1 Soporte de la tobera
- 2 Tuerca de la tobera
- 3 Vastago
- 4 Muelle
- 5 Placa superior del muelle
- 6 Tuerca de tapa del muelle
- 7 Tapon roscado
- 8 Arandela de cierre
- 9 Arandela de union
- 10 Arandela de union
- 11 Adaptador de entrada
- 12 Conexion de Retorno
- 13 Tornillo con taladro de paso
- 14 Tobera
- 15 Valvula de agua

**Figura 2.26:** Sección de un inyector de taladro múltiple

(Alan Asmus & Wellinton, 1991)



Las toberas de inyección se pueden dividir en dos tipos:

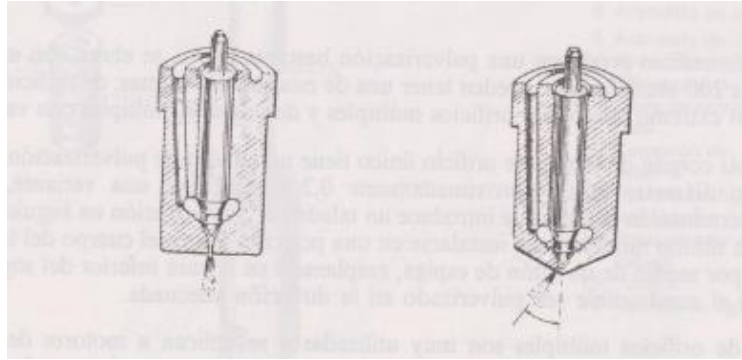
- Toberas de orificio
- Toberas de aguja o espiga

Cada una de estas está diseñada para una función en específica.

### **2.7.1.1 Inyectores con toberas de orificio**

Se utilizan en los motores de inyección directa, ya que producen una pulverización bastante fuerte que se abren a presiones elevadas de 125 a 200 atmosferas y pueden tener las siguientes formas:

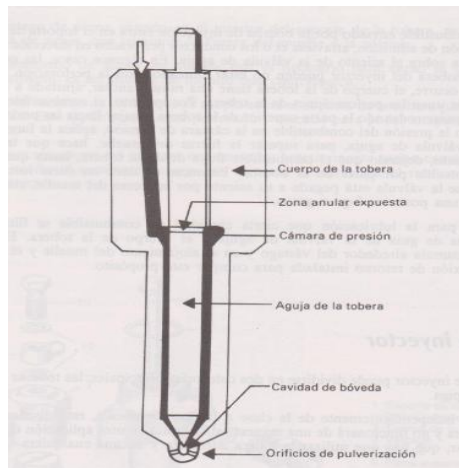
- Orificio Único: El más común tiene un taladro de pulverización perforado axialmente cuyo diámetro es de 0.2 mm
- Orificio único con extremo cónico: En comparación al anterior existe una variante que introduce un taladro de pulverización en ángulo con el eje de la tobera, siendo instalada en una posición fija en el cuerpo del inyector, mediante un tetón de espiga colocado en la parte inferior del soporte de la tobera. Ver figura 2.27



**Figura 2.27:** Tobera de orificio único (izquierda) y tobera de orificio cónico único (derecha)

(Alan Asmus & Wellinton, 1991)

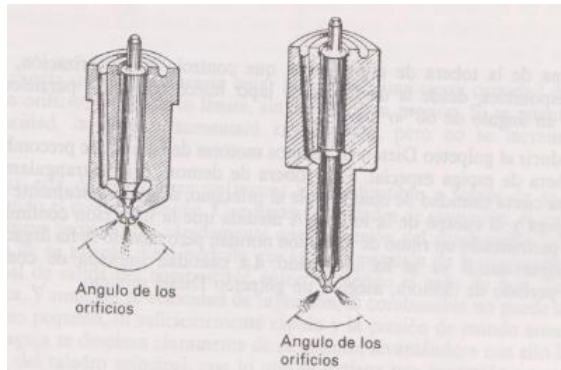
- **Orificios Múltiples:** Se aplican a los motores de inyección directa, dispone de varias perforaciones de pulverización de dos a cuatro formando ángulos con el eje de la tobera típicamente distribuidos de tal manera que el suministro de combustible sea uniforme. Ver figura 2.28



**Figura 2.28:** Tobera de un inyector con orificio múltiple.

(Alan Asmus & Wellinton, 1991)

- Orificios múltiples con varillas largas: De la misma manera que el anterior se utiliza en motores de inyección directa, esta longitud adicional de menor diámetro, se debe a la distancia existente entre el depósito de combustible y el extremo de salida de la tobera, este sistema además elimina los impedimentos en las agujas que tienden a agarrotarse debido al excesivo calor generado por la combustión. Ver figura 2.29.

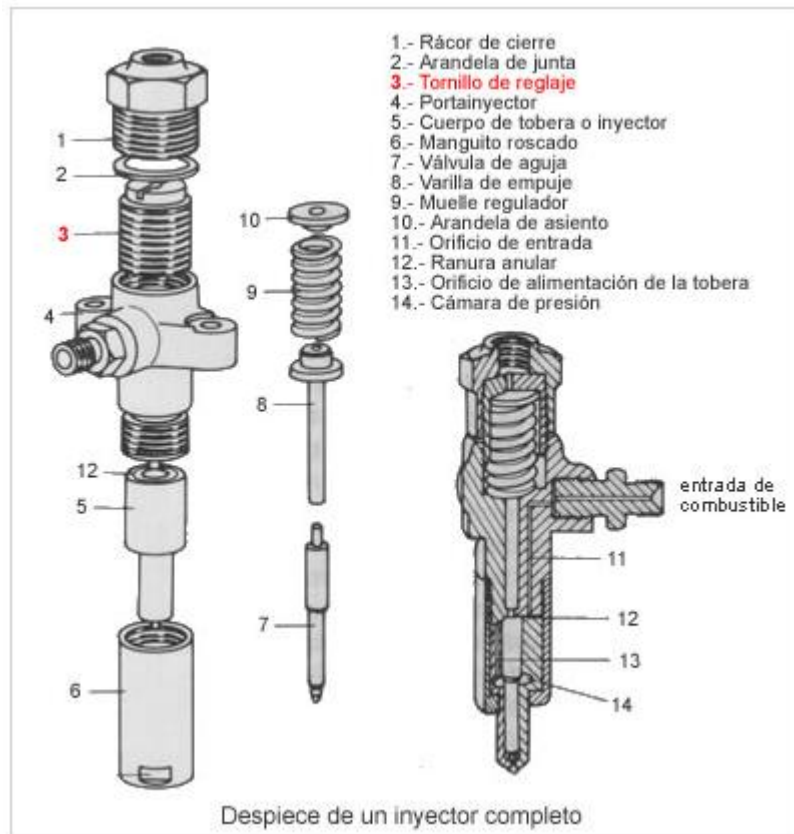


**Figura 2.29** Tobera de orificios múltiples con varilla corta y con varilla larga

**(Alan Asmus & Wellinton, 1991)**

### **2.7.1.2 Inyectores con toberas de aguja o espiga**

Por el número de orificios y por su clase de aguja los inyectores se clasifican en inyectores de un orificio, e inyectores de orificios múltiples, también pueden ser de aguja corta o de aguja larga. Ver figura 2.30



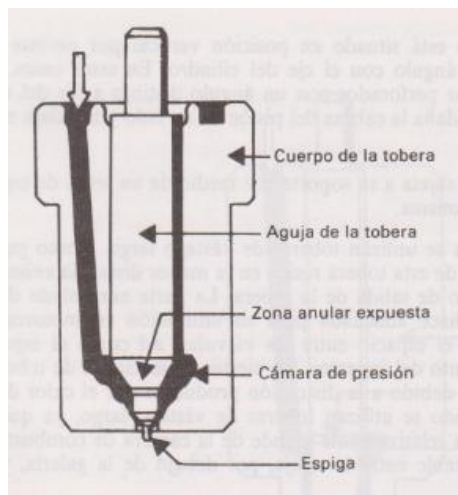
**Figura 2.30** Inyectores con toberas de aguja o espiga

(PATRICIO, 2012)

Por la clase de espiga, algunos inyectores en lugar de aguja cuentan con una espiga, que controla un solo orificio, también llamado teton, que puede ser cilíndrica o cónica. Dentro de la categoría de los inyectores de espiga, se encuentran los inyectores pintaux cuya particularidad es que tienen un orificio calibrado, además del orificio axial, mismo que sirve para facilitar el arranque en frío

Existen diferentes modelos o formas de la espiga que controla la pulverización en forma de lápiz hueco con lados paralelos, de cono hueco con un ángulo de 60° o más.

Estos inyectores se caracterizan porque llevan una espiga que sale a través de un único orificio de pulverización suave, la mayoría son autolimpiantes, siendo utilizadas para bajas presiones también para los motores de inyección directa. La principal ventaja respecto a las toberas de orificio es que no corren el riesgo de taponarse con carbonilla, debido a que la espiga se encuentra en el centro de pulverización del combustible. Ver figura 2.31



**Figura 2. 31:** Tobera de Espiga

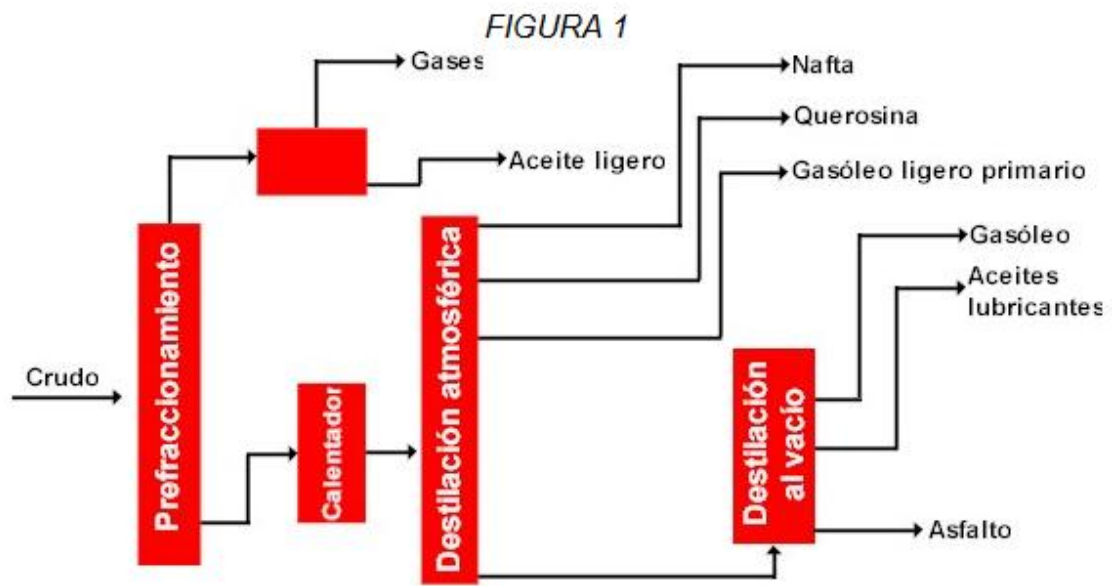
(Alan Asmus & Wellinton, 1991)

## 2.8 COMBUSTIBLE DIESEL

Es un combustible derivado del petróleo que es convertido mediante procesos físicos y químicos.

El primer paso al que se somete el petróleo en la refinería es la destilación con el objetivo de separarlo en diferentes fracciones para poder procesar desde crudos livianos hasta pesados, En las torres de destilación, los líquidos y los

vapores se van separando en fracciones de acuerdo a su peso molecular y temperatura de ebullición siendo los más livianos el GLP y gasolina que se evaporizan y suben hasta la parte más alta de la torre donde se condensan, los combustibles medianamente pesados como el querosén y el diesel permanecen en la parte media, mientras que los líquidos pesados y los gasóleos ligeros primarios, se colocan más abajo y por último los pesados hasta el fondo. El diesel tiene un punto de ebullición máximo de 350°C. Ver figura 2.32



**Figura 2. 32:** Separador de Agua con cabeza de filtro

(Martínez, 2011)

### 2.8.1 EMISION DE GASES CONTAMINANTES

Los motores deben cumplir con las exigencias de la legislación local, con la emisión de los gases en los motores a diesel. A continuación se resume los principales contaminantes que producen los motores a diesel. Ver tabla 2.4

**Tabla 2.4.** Contaminantes en el motor diesel

Contaminantes	Motores a Diesel
Material particulado-humo	0.5 g/m <sup>3</sup>
Hidrocarburos	Menor que 300 PPM
Monóxido de Carbono	Menor que 0.1% en volumen
Óxidos de nitrógeno	1000-4000 PPM

En los motores a diesel se genera hollín que se determina cuando el humo botado es de color negro, se producen entre las temperaturas de 2000-3500°K por pirolisis de los hidrocarburos en la zona que se produce la llama de difusión.

El color de los gases de escape puede ser blanco cuando sale junto con los gases de escape combustible no quemado, también puede ser de color azul que se debe a la vaporización del aceite que pasa a la cámara de combustión y sale con los gases quemados.

#### **2.8.1.1 Número de Cetano**

Así como en el motor de gasolina el octano mide la calidad de ignición, el índice de cetano mide la calidad de ignición de un motor diesel.

Este combustible presenta diferentes calidades en función del proceso que se realiza en las refinerías y según sea añadido aditivos que mejoren el índice de cetano, dentro de las normas exigen que se tenga un mínimo de 40, teniendo

los que se comercializan en el país, por encima de los 50 a 55, debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición.

En general, los aromáticos y los alcoholes tiene un índice de cetano bajo. Por ello el porcentaje de gasóleos desintegrados, en el diesel, se ve limitado por su contenido de aromáticos.

Existen además otros factores que pueden afectar al índice de cetano que son: la adición de alrededor de un 0.5% de aditivos mejoradores de cetano incrementan el cetano en 10 unidades. Estos aditivos pueden estar formulados con base a alquilnitratos, amil nitratos primarios, nitritos o peróxidos. La mayoría de ellos contienen nitrógeno y tienden, por lo tanto, a aumentar las emisiones de NOx.

#### **2.8.1.2 Propiedades del diesel**

Está compuesto principalmente por elementos parafínicos, naftalénicos y aromáticos, teniendo un número de carbono bastante fijo que se encuentra entre el C10 y C22

#### **2.8.2 REQUISITOS DEL DIESEL**

Según la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1489:2011 correspondiente a los productos derivados del petróleo, diesel, nos presenta los requisitos. Ver tablas 2.5; 2.6; 2.7.



**Tabla 2. 5.** Requisitos para el combustible diesel utilizado en aparatos de combustión externa, industriales o domésticos.

Requisitos	Unidad	Mínim o	Máxim o	Método de Ensayo
Punto de Inflamación	°C	40	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
∅ Contenido de agua y sedimentos	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de ceniza	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	288	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8 °C	csT	1,3	3	NTE INEN 810
W contenido de azufre	%	-	0,3	AST, D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificaci ón	-	No 2	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	40	-	NTE INEN 1495

(Normalización, 2011)

**Tabla 2.6.** Requisito para el combustible diesel utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna de autoignición

Requisitos	Unidad	Míni mo	Máxi mo	Metodo de Ensayo
Punto de Inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
∅ Contenido de agua y sedimentos	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de ceniza	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8 °C	csT	2,5	6	NTE INEN 810
W contenido de azufre	%	-	0,7	AST, D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasifica ción	-	No 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de Biodiesel	%	Nota 1	5	EN 14078
Nota 1: De no contener biodiesel no es necesario la realización de este ensayo				

(Normalizacion, 2011)

**Tabla 2.7.** Requisito para el combustible diesel utilizado para uso de automotores de diesel, que requieren de bajo contenido de azufre y alta volatilidad

Requisitos	Unidad	Míni mo	Máxi mo	Método de Ensayo
Punto de Inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
∅ Contenido de agua y sedimentos	%	-	0,05	NTE INEN 1494
W Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
W contenido de ceniza	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37,8 °C	csT	2,5	6	NTE INEN 810
W contenido de azufre	%	-	0,05	AST, D4294 NTE INEN 1490
Corrosión a la lámina de cobre	Clasifica ción	-	No 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de Biodiesel	%	Nota 1	5	EN 14078
Nota 1: De no contener biodiesel no es necesario la realización de este ensayo				

(Normalización, 2011)

## 2.8.3 PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL DIESEL

### 2.8.3.1 Óxidos de Azufre (SO<sub>x</sub>):

Los óxidos de azufre se originan principalmente por la oxidación del azufre contenido en los combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, durante la

combustión, y también del azufre contenido en los minerales sulfurados durante el proceso de fundición. En el proceso de combustión se produce mayoritariamente SO<sub>2</sub> (95%) y pequeñas cantidades de SO<sub>3</sub> y sulfatos. En la atmósfera se produce la oxidación del SO<sub>2</sub> convirtiéndose en SO<sub>3</sub>. El SO<sub>3</sub> se transforma en ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) en presencia de humedad, el cual produce corrosión de los equipos industriales cuando se condensa, lo que ocurre a temperaturas suficientemente bajas.

Los principales efectos en la salud asociados a exposición a altas concentraciones de SO<sub>x</sub> incluyen irritación de las vías respiratorias, broncoconstricción (sensación de falta de aire o de pecho apretado), bronquitis obstructiva y agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares.

Los óxidos de azufre a menudo se presentan junto al material particulado (MP) y NO<sub>x</sub> produciéndose un efecto sinérgico.

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

Los óxidos de nitrógeno son una familia de gases que se forman en el proceso de combustión por reacción del oxígeno con el nitrógeno del aire y del combustible, a temperaturas elevadas. La formación del NO<sub>x</sub> depende fundamentalmente de la temperatura de la combustión, de la concentración de nitrógeno en el combustible y de oxígeno y del tiempo de exposición a altas temperaturas. El principal representante es el NO, que en combinación con el oxígeno del aire forma NO<sub>2</sub>, que es un poderoso agente oxidante, ya que reacciona con la humedad de la atmósfera formando el ácido nítrico, que es altamente corrosivo. También es un precursor de la formación de ozono.

Los principales efectos en la salud de los óxidos de nitrógeno son la irritación en las vías respiratorias y pulmones, y la disminución de resistencia a infecciones

respiratorias, pérdida de las mucosas y puede exacerbar el asma. Además contribuye significativamente a la formación de lluvia ácida, en conjunto con los óxidos de azufre. Estos óxidos en presencia de humedad forman ácidos que son arrastrados por la lluvia, neblina o nieve a la tierra, donde producen daños a la vegetación, animales, estructuras metálicas y cursos de agua.

### **2.8.3.3 Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)**

Comprenden una amplia gama de hidrocarburos que se originan por una combustión incompleta en calderas, hornos o fuentes móviles o por fugas en los sistemas de transporte de combustibles líquidos o gaseosos, así como los motores diesel de camiones y buses.

Durante la combustión se produce la vaporización de los compuestos volátiles de bajo peso molecular por efecto de alta temperatura y el cracking térmico de los compuestos pesados. Estos últimos se transforman en hidrocarburos más livianos. Este proceso es beneficioso para obtener una buena combustión, pero si el tiempo de residencia, la relación aire combustible o la temperatura dentro del hogar no son adecuadas, parte de estos compuestos no se alcanza a quemar, emitiéndose a la atmósfera.

Algunos compuestos orgánicos generados en la combustión son tóxicos y algunos como el benceno, son cancerígenos, al estar las personas expuestas a estos contaminantes durante largos períodos. Usualmente las emisiones de compuestos orgánicos peligrosos son muy pequeñas, por lo que su principal efecto es que son precursores del ozono.

#### **2.8.3.4 Ozono (O<sub>3</sub>)**

Es un estado alotrópico del oxígeno, que tiene propiedades altamente oxidantes. El ozono no se emite directamente sino que se forma en la atmósfera por reacciones químicas entre compuestos orgánicos volátiles (COV) y óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), en presencia de la luz solar. Los procesos fotoquímicos son altamente complejos y depende de las proporciones de NO<sub>x</sub>, COV, patrones de vientos y la actividad fotoquímica del lugar.

Exposiciones prolongadas al ozono pueden causar problemas respiratorios, envejecimiento prematuro de los pulmones y enfermedades respiratorias crónicas. Además, provoca efectos adversos en el crecimiento de la vegetación, las plantas se vuelven más susceptibles a enfermedades y a ataques de insectos, también influye en la durabilidad de los materiales.

#### **2.8.3.5 Monóxido de Carbono (CO)**

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que se produce por la combustión incompleta de combustibles fósiles y en menor medida en el gas natural y el GLP, la que se puede originar por: zonas frías dentro del hogar, tiempo de residencia muy cortos, bajo exceso de aire o mala distribución de aire en el hogar. En la combustión de sólidos y líquidos en general, las emisiones de CO se asocian a la generación de humo visible y hollín.

El CO es altamente tóxico, puesto que se combina con la hemoglobina de la sangre impidiendo el transporte de oxígeno a las células, afectando el funcionamiento del corazón, cerebro y músculos, perjudicando principalmente a personas con enfermedades cardiovasculares. En personas sanas reduce su capacidad de trabajo, su destreza manual y capacidad de aprender. En

mayores concentraciones produce dolor de cabeza, mareos e incluso puede ocasionar la muerte, dependiendo del nivel de concentración.

El Ecuador es un país petrolero con un promedio de extracción diaria de crudo de 525000 barriles por día, dividido de la siguiente manera:

EP Petro Ecuador 160.000 barriles diarios.

EP Petro Amazonas con 150.000 barriles diarios.

Empresas Privadas 138.000 barriles diarios.

Rio Napo con 60.000 barriles diarios.

Con una reserva de 3.656 millones de barriles con un estimado a agotarse en un lapso de 25 años, el Ecuador no ha tenido la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía como por ejemplo los Biocombustibles.

## **2.9 COMBUSTIBLE BIODIESEL**

### **2.9.1 GENERALIDADES DE LOS BIOCMBUSTIBLES**

A nivel mundial la preocupación medio ambiental debido al calentamiento global ocasionada por la alta contaminación es prioridad con una importante atención a la reducción de emisiones de gases, material particulado, ozono, NOx, CO, CO<sub>2</sub>, demostrándose que la mayor parte de los gases contaminantes provienen de los vehículos, siendo preciso la mejora de la calidad del combustible.

Además es importante hoy en día buscar fuentes de energías alternativas, en especial provenientes de recursos renovables menos contaminantes como la biomasa que proviene de la materia orgánica y productos provenientes de su

transformación para generar la energía, sustituyendo a las no renovables como es el caso del petróleo.

### **2.9.2 ACEITE VEGETAL**

Es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas en cuyos tejidos se acumula como fuente de energía, ya que todas las grasas están constituidas por glicerina y tres ácidos grasos. Este tipo de aceite puede provenir de frutos o semillas como son: la soja, aceituna, la palma, el girasol, el maíz, la almendra y colza.

En el caso de aceites vegetales usados obtenidos del reciclaje de igual manera suelen ser utilizados para la fabricación de biocombustibles del que se produce diesel más glicerina.

Es un combustible derivado de la biomasa es decir de aceites vegetales o animales que puede reemplazar el gasoil mineral, constituyéndose en un biocombustible proveniente de los recursos renovables, incrementando los ingresos de los agricultores promoviendo el desarrollo rural. Ver tabla 2.8



**Tabla 2. 8.** Comparación de las propiedades del diesel del petróleo con los aceites.

Propiedades	Diesel del Petróleo	Aceite de girasol	Ester Metílico de girasol	Aceite de Colza	Ester Metílico de colza
Densidad (15°C) (Kg/l)	0,84	0,92	0,89	0,9	0,883
Punto de Ignición (°C)	63	215	183	200	153
Viscosidad cinemática (mm <sup>2</sup> /s)	3,2	35	4,2	39	4,8
Numero de Cetano	45-50	33	47-51	35-40	52
Calor de combustión (Mj/Kg)	44	39,5	40	-	40
Punto de esturbiamiento (°C)	0	-6,6	3	-	-3
Azufre (% en Peso)	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Residuo de Carbón (% en Peso)	0,2	0,42		-	-

(Normalización, 2011)

Se puede apreciar que las propiedades del éster metílico son mejores que las del aceite directo de las oleaginosas, en cuanto a favorecer la adecuada combustión y que se pueden tener diferencias en las propiedades del biodiesel obtenido, dependiendo de las materias primas utilizadas.

La calidad del biodiesel depende de dos factores que son:

- Tipo de aceite de origen
- Calidad de fabricación

El biodiesel tiene un número de cetano más general en comparación con el diesel que es de 50, dependiendo de igual manera del aceite con el que se ha fabricado

Otro aspecto que tiene que ver con el consumo específico es el poder calórico, donde el del biodiesel es algo inferior al del diesel. Respecto al motor al cual se le va a suministrar el biodiesel es importante realizarles ciertos cambios debido al alto poder solvente del metil éster tales como el cobre que se disuelve con el biodiesel, y de juntas que son poco resistentes que necesitan ser cambiadas por un mejor material en mucho de los casos se recomienda el vitón. Al mantener estas capacidades de solvente y detergente tan elevadas, este combustible se encarga de eliminar las partículas extrañas, polvo etc., hasta la eliminación de la pintura en las partes del motor por las que fluye. Este combustible presenta buenas características de lubricación, pero la disminución de la viscosidad frente al diesel ocasiona que haya cambios más frecuentes del aceite, además gracias a su alta temperatura de ebullición y peso molecular suele haber ciertas fugas de este hacia el cárter. Ver tabla 2.9

La norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 482:2009 nos presenta los requisitos que debe tener el biodiesel con una concentración del 100% (B100)

Tabla 2. 9. Requisitos del Biodiesel

Requisitos	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Métodos de Ensayo
Densidad a 15°C	kg/m <sup>3</sup>	860	900	ASTM D 1298
Punto de Inflamación	°C	120	-	ASTM D93
Punto de Turbidez	°C	Reportar		
∅ Agua y sedimentos	%	-	0,05	ASTM D 1796
Contenido de agua	mg/Kg	-	500	ASTM D 95
Viscosidad cinemática a 40°C	mm <sup>2</sup> /s	3,5	5	ASTM D 445
Cenizas Sulfatadas	%(m/m)	-	0,02	ASTM D 874
Contenido de azufre	mg/Kg	-	10	ASTM D 1552
WCarbón residual 2	%	-	0,05	ASTM D 4530
Corrosión lámina de cobre	Clasificación	-	3	ASTM D 130
Numero de cetano	-	49	-	ASTM D 613
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	-	360	ASTM D 1160
Wglicerina libre	%	-	0,02	ASTM D 6584
W Glicerina total	%	-	0,25	ASTM D 6584
Wcontenido de esteres	%	96,5	-	EN 14103
Índice de Yodo	g yodo/100 g	-	120	EN 14111
W contenido de metanol	%	-	0,2	ASTM D 4815 EN 14110
Contenido de fosforo	mg/Kg	-	10	ASTM D 4951
Contenido de metales alcalinos (Na+K)	mg/Kg	-	5	EN 14108
Contenido de metales alcalinos (Ca+Mg)	mg/Kg	-	5	prEN 14538
Numero de Acidez	mg KOH/g	-	0,5	ASTM D 664
<p>El punto de turbidez del biodiesel generalmente es mayor que el diesel de origen fósil y debe ser tomado en consideración para los procesos de mezcla</p> <p>Debe ser determinado en el la 100% de muestra</p>				

(Normalización, 2011)

Como requisitos complementarios tenemos que el transporte, almacenamiento y manejo del biodiesel se lo debe realizar conforme a lo establecido en la norma NTE INEN 2266, mientras que la comercialización se lo debe realizar por m<sup>3</sup> o sus submúltiplos de acuerdo a lo establecido por la ley 2007-76 del sistema ecuatoriano de la calidad

Los aspectos que se deben considerar para usar el biodiesel son:

- La menor contaminación
- Costo del biodiesel en comparación con el diesel

### **2.9.3 PROPIEDADES DEL BIODIESEL**

A través del origen de los triglicéridos se obtiene el biodiesel con unas u otras cualidades, siendo los componentes básicos de los aceites y grasas los triglicéridos.

En la siguiente tabla se comparan las propiedades físicas y químicas promedio del biodiesel y del diesel del petróleo; indicándose las normas ASTM establecidas para obtener una calidad uniforme de los combustibles, donde algunas son parecidas y otras muy cambiantes las cuales causan en mayor parte los problemas al motor al usar el biodiesel. Ver tabla 2.10; 2.11

**Tabla 2. 10:** Diferencia de Propiedades Biodiesel y Diesel

Propiedades	Biodiesel	Diesel
Norma de Combustible	ASTM D975	ASTM PS121
Composición	C12-C22 FAME	C10-C21 HC
Metilester	95,5->98% (normas)	-
Carbono (% Peso)	77	86,5
Azufre (% peso)	0-0,0024	0,05 MAX
Agua (ppm peso)	0,05% máx.	161
Oxigeno( % peso)	11	0
Hidrogeno(% peso)	12	13
No. De Cetano	48-55	40-55
PCI (KJ/Kg)	37700	41860
Viscosidad Cinemática (40°C)	1,9-6,0	1,3-4,1
Punto de Inflamación (°C)	100-170	60-80
Punto de Ebullición (°C)	182-338	188-343
Gravedad Especifica (Kg/l) (60°C)	0,88	0,85
Relación de aire/combustible	13,8	15

(Torres, 2012)

**Tabla 2. 11:** Calores de combustión y números de cetano de diferentes tipos de biodiesel

Tipo de Biodiesel	Calor de Combustión (MJ/Kg)	No de Cetano
Éster metílico de soya	39,8	46,2
Éster Etílico de soya	40	48,2
Ebutílico de soya	40,7	51,7
Éster metílico de girasol	39,8	47
Éster metílico de cacahuete	-	54
Éster metílico de Colza	40,1	-
Éster metílico de colza	41,4	-

(Torres, 2012)

### 2.9.3.1 Ventajas del biodiesel

- Se verifica que la viscosidad y densidad del biodiesel aumentan en comparación con el diesel.
- El funcionamiento del motor que tiene que ver con el número de cetano es mejor con el biodiesel.
- No presenta compuestos aromáticos ni azufre.
- El punto de inflamación es muy superior al del diesel por lo que es más seguro y confiable al momento de almacenarlos.
- Presenta oxígeno que permite una adecuada combustión con una menor relación de aire/combustible.
- La biodegradabilidad es una característica del biodiesel que incentiva su uso, desapareciendo en menos de 21 días, con una degradación 4 veces más rápida que con el diesel del petróleo.
- No es soluble en agua; con una toxicidad inferior a la del diesel.

### 2.9.3.2 Desventajas del biodiesel

- Tiene un menor poder calorífico, con un mayor consumo de combustible.
- Tiene una pérdida de potencia de un 5%
- Presenta mayor viscosidad y densidad con problemas de fluidez en climas fríos, por tal razón es importante adquirir anticongelantes especiales.
- Actúa como un aditivo detergente aflojando y disolviendo sedimentos en las diferentes áreas de recorrido del biocombustible
- Los ácidos grasos no saturados deben ser utilizados rápidamente, ya que producen residuos durante las reacciones de oxidación que se depositan en inyectores (obstrucción); combustión incompleta y por ende en la emisión de contaminantes.
- Con combustión incompleta es disolvente del aceite lubricante y de refrigeración, lo que implica mayor frecuencia de cambio de aceite; para evitarlo, es necesario conocer la composición de los aceites a esterificar, utilizando variedades en las que la proporción de insaturados no signifique un problema.
- Las temperaturas de inflamación del biodiesel son mayores, por lo que en lugares fríos o durante el invierno, se pueden presentar problemas en el arranque (B100).
- Se deben cambiar con mayor frecuencia los filtros de combustible con el B100 (cada 130 hrs. en lugar de cada 200 hrs.).
- Existe un deterioro rápido de los elementos de caucho, debe sustituirse por otro material (teflón u otro).
- Es disolvente de pinturas, por lo que deben utilizarse a base de poliuretano.

- Modificaciones que se recomiendan en el motor para la utilización de biodiesel a concentraciones mayores al 20%.
- ✓ Cambio del filtro de combustible después del primer tanque de biodiesel.
- ✓ Modificación del tiempo de inyección.
- ✓ Respecto al biodiesel es recomendable que se realicen varios ensayos tales como son: Calidad de combustible y nivel de impurezas remanentes en proceso de producción del biodiesel.

## **2.9.4 VENTAJAS DEL BIODIESEL FRENTE AL DIESEL**

### **2.9.4.1 Lubricidad**

Se producen menos desgaste que con el diesel, siendo muy superior en los ensayos de lubricidad realizados, mismos que se han venido realizando en los países donde la tecnología de los biocombustibles ha venido siendo primordial.

### **2.9.4.2 Numero de cetano**

En general los esteroides derivados de ácidos grasos tienen un número mayor de cetano que el diesel, entonces mientras la precombustión de los esteroides sucede se forman diferentes compuestos: alcanos, esteroides, bencenos, alquenos y furanos entre otros, teniendo los compuestos aromáticos un número bajo de cetano lo que implica que el biodiesel tienen un número de cetano inferior al diesel.

### **2.9.3.4.3 Emisiones contaminantes**



La combustión es más eficaz por la presencia del oxígeno de las moléculas del éster en el núcleo del spray. El biodiesel está compuesto por largas cadenas de carbono de parecido similar a las de la parafina del diesel diluyéndose de esta manera en los aromáticos, reduciéndose así las partículas.

## **3. DESARROLLO DEL PROYECTO**

### **3.1 EL VEHICULO**

Para el desarrollo de este proyecto se utilizó un vehículo, de especificaciones:

- a.- Motor Diesel
- b.- Turboalimentado
- c.- Bomba de Inyección Lineal

#### **3.1.1 DATOS DEL VEHÍCULO**

- a.- Marca: NISSAN
- b.- Modelo: FD6T-175
- c.- Año: 1987

#### **3.1.2 ESPECIFICACIONES DEL MOTOR:**

- 6 cilindros en línea
- Cilindrada: 5654cc

#### **3.1.3 ESPECIFICACIONES DE LA BOMBA DE INYECCIÓN.**

- Marca: Diesel Kiki
- Modelo:101681-9230
- Serie: 15217757130

## **3.2 DINAMÓMETRO**

### **3.2.1 INTRODUCCIÓN**

La palabra dinamómetro está compuesta por dos palabras griegas. La palabra Dinamo que significa potencia en movimiento y la palabra metro que significa medir.

El dinamómetro es un equipo que permite medir la energía que entrega un motor, operando bajo distintos rangos de velocidad y carga, sin tener el vehículo en movimiento en carretera o camino. (Lopez A. J., 2011)

El dinamómetro tradicional, inventado por Isaac Newton, basa su funcionamiento en la elongación de un resorte que sigue la ley de Hooke en el rango de medición. Al igual que una báscula con muelle elástico.

El dinamómetro funciona gracias a un resorte o espiral que tiene en el interior, el que se alarga cuando se aplica una fuerza sobre él. Una aguja o indicador muestra la fuerza que se realiza.

#### **3.2.1.1 Tipos de Dinamómetro**

Los tipos de dinamómetros que permiten evaluar el comportamiento del motor de un vehículo son:

- Dinamómetro de Motor.

- Dinamómetro de Chasis.

### **3.2.2 DINAMÓMETRO DE MOTOR.**

El dinamómetro de motor es un equipo que permite obtener tanto el balance de energía como las curvas características del motor, como son: par motor, potencia, consumo específico de combustible.

En la figura 3.1 se ve el dinamómetro de motor el cual se encuentra en las Instalaciones del Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV), y que tiene las siguientes especificaciones:

- Marca: Weinlich Steuerungen.
- Modelo: MP 80/6000 con ordenador MP
- Dinamómetro: Freno de corriente de Foucault electromagnético con refrigeración por aire.
- Alimentación: 220V de corriente trifásica.
- Torque: 800 N-m máx.
- Barra calibradora 250 N-m

Este tipo de dinamómetro permite intercambiar motores eléctricos, pequeños motores de tractores o equipos que se ajusten a las características del dinamómetro de motor. Ver figura 3.1



**Figura 3.1:** Dinamómetro de Motor

(Lopez A. J., 2011)

### **3.2.2.1 Curvas características del dinamómetro de motor**

Las curvas características permiten determinar el trabajo que es capaz de realizar un motor, fundamentalmente las del par motor, potencia y consumo específico de combustible.<sup>1</sup>

### **3.2.2.2 Curvas de velocidad**

En las curvas de velocidad las revoluciones del motor y la carga varían, mientras el acelerador se mantiene constante, las curvas de velocidad están dadas en función de las revoluciones y se puede obtener. (Lopez A. J., 2011)

- Par motor vs RPM
- Potencia vs RPM

- Consumo específico de combustible vs RPM

### 3.2.2.3 Curvas de carga

En las curvas de carga la velocidad de rotación permanece constante mientras la carga y la aceleración varían, estas curvas están en función de la potencia al freno y se obtiene curvas de:<sup>2</sup>

- Par motor vs Potencia de freno
- Potencia vs Potencia de freno
- Consumo específico de combustible vs Potencia de freno

[ 3.1 ]

$$c.c = p_{combustible} * \frac{V}{t \left( \frac{gr}{s} \right)}$$

Dónde:

p combustible = densidad del combustible (gr/cm<sup>3</sup>)

V = volumen determinado (cm<sup>3</sup>)

t = tiempo que se demora en consumirse (s)

El consumo específico de combustible determina cuanto combustible se ha gastado para generar una cierta potencia.

$$c.e.c = \frac{c.c}{P \left( \frac{gr}{s} \right)} \quad [ 3.2 ]$$

Dónde:

) de combustible

c.c = Consumo de combustible

P = Potencia generada

### 3.2.3 DINAMÓMETRO DE CHASIS

El dinamómetro de chasis es un equipo que permite medir la potencia y el par motor en las ruedas motrices del vehículo, los resultados obtenidos serán representados de forma de grafica mediante curvas.

Para la correcta interpretación de las curvas obtenidas, al momento de realizar los ensayos en los vehículos se debe considerar los siguientes conceptos:

#### 3.2.3.1 Potencia Efectiva.

El par motor multiplicado por la velocidad de rotación da como resultado la potencia efectiva, conocida como POTENCIA AL FRENO debido al mecanismo que se utiliza para su medición. (Lopez A. J., 2011)

[ 3.3 ]

$$P_e = M_M * n [kW]$$

Dónde:

$M_M$  = Par motor o torque (N-m).

n = Velocidad de rotación del motor (rpm).

### **3.2.3.2 Potencia Indicada**

Es la potencia que desarrollada en el interior del cilindro por el proceso de combustible.

### **3.2.3.3 Potencia Normalizada**

Esta potencia disminuye con la altitud debido a que la presión en el cilindro es menor respecto a la que se obtiene a nivel del mar a lo largo de todo el ciclo del motor, esto hace mención a la pérdida de potencia que se da por la altura.

### **3.2.3.4 Par Motor o Torque**

La fuerza de la explosión aplicada a la biela y transmitida por esta al codo del cigüeñal para hacerle girar, produce un esfuerzo de rotación, que se conoce con el nombre de par motor. (Lopez A. J., 2011)

## **3.2.4 DINAMÓMETRO DE CHASIS (LPS 3000).**

Pertenece al CCICEV de la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito y está compuesto por los siguientes elementos:

- Juego de Rodillos
- Freno de corriente parasitas (Eddy Current Brake)
- Chasis del dinamómetro.
- Cardán.



- Bomba hidráulica
- Cilindros hidráulicos
- Ventiladores
- Sistema de adquisición de datos (tarjetas electrónicas).
- Dispone de elementos complementarios como:
- Pupitre de comunicaciones
- Pantalla LCD, CPU y teclado
- Control remoto
- Caja de interfaces
- Ventilador refrigerante
- Opacímetro (MDO2 LON).
- Analizador de gases (MGT5)
- Extractor de gases

### **3.3 PRUEBAS (COMBUSTIBLE DIESEL)**

Para la realización de esta etapa se decidió, aparte de la prueba de TORQUE y POTENCIA, realizar una serie de pruebas de ruta, tanto en plano como en cuesta.

#### **PRUEBAS**

Para el desarrollo de este proyecto fue necesario realizar una serie de pruebas, entre las que se escogió las más considerables, esto quiere decir de aquellas que podamos obtener datos concisos para

determinar los cambios que se presentan al cambio de combustible en el motor del vehículo a pruebas. cabe recalcar que no se ha realizado pruebas de biocombustible al 100% como único combustible.

Por tal motivo se determinó realizar primero pruebas en ruta, (en plano y en cuesta), y pruebas donde un programa nos brinde los valores exactos que arroja el combustible que se está usando en ese momento (Dinamómetro)

### **3.3.1 PRUEBAS DE RUTA EN ACENSO.**

Esta prueba es muy importante, ya que de esta manera determinaremos, si es que el combustible (biodiesel) genera la fuerza suficiente para poder movilizar al vehículo en pendientes.

Las pruebas de ruta en cuesta como en plano se las realizaron en la avenida Simón Bolívar.

### **3.3.2 PRUEBA EN CUESTA.**

Para realizar esta prueba, el vehículo (volqueta NISSAN FD6T-175) utilizo como combustible en la vía DIESEL común. Se tomó un punto de referencia inicial (avenida Simón Bolívar); siendo este el punto cero, donde el vehículo inicio su movimiento partió en primera marcha, en el momento que el conductor cambio a segunda marcha se marcó el sitio en la calle, para luego medir la distancia

recorrida, misma que fue desde el punto cero hasta donde se realizó el cambio de primera a segunda. Luego el conductor condujo el vehículo en segunda marcha hasta que fue necesario realizar el cambio de segunda a tercera, marcando nuevamente el piso el cambio de marcha y medir la distancia. Repitiendo el proceso de tercera a cuarta. Realizando la prueba de ruta por dos ocasiones, medidas indicadas en la tabla 3.1

A continuación se presenta un cuadro de las medidas tomadas en las pruebas en cuesta.

**Tabla 3.1.** Prueba en cuesta con Diesel

PUEBA EN CUESTA ( DIESEL )		
DISTANCIA (METROS)		
PRUEBA N°	1	2
PRIMERA	8,5 m	10 m
SEGUNDA	25,75 m	23,80 m
TERCERA	62,10 m	74,40 m
CUARTA	90,91 m	105, 20 m
TOTAL	187,26 m	213,40 m

### 3.3.3 PRUEBAS EN PLANO

Las pruebas en plano, al igual que las pruebas en cuesta se las realizaron en la avenida Simón Bolívar, y el proceso fue similar, Este proceso se lo realizo por dos ocasiones.

A continuación los datos de la prueba de ruta en plano, Tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Prueba en Plano Diesel**

PUEBA EN PLANO ( DIESEL )		
DISTANCIA (METROS)		
PRUEBA Nº	1	2
PRIMERA	10.92 m	8.65 m
SEGUNDA	16.50 m	14.25 m
TERCERA	42.58 m	32.11 m
CUARTA	74 m	49.62 m
TOTAL	144 m	104.63 m

### **3.3.4 PRUEBA DE: TORQUE, POTENCIA, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y OPACIDAD. (DIESEL)**

Las pruebas de torque y potencia se realizaron en un dinamómetro. El CCICEV (Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares) lo tiene.

Medir el torque, potencia y opacidad fue más complejo, ya que para estas pruebas se requerirá de la ayuda de ciertos equipos electrónicos, como por ejemplo sensor piezoeléctrico.

El proceso comienza una vez que se ingresa con el vehículo de prueba a las instalaciones del CICCEV, luego se ubico el vehículo sobre los rodillos del Dinamómetro, para ello hay que tener en cuenta que este debe encontrarse centrado sobre los mismos, esto se verifica poniendo al vehículo en marcha, y observando que este no tienda a desviarse hacia ningún lado. Una vez terminada esta fase, se sujeto el vehículo, con correas hacia soportes ubicados en las paredes de la fosa del Dinamómetro, y de igual forma se sujeta al vehículo con otras correas de sujeción, pero estas se la realiza con cilindros hidráulicos que presionan al vehículo contra los rodillos para simular que este

se encuentra a carga máxima. Una vez sujeto el vehículo se conectan el resto de equipos como: sensor piezoeléctrico, este se encarga de emitir los pulsos de inyección desde el primer cilindro. Realizando una comparación este imita un cable de alta tensión o de bujía en caso de vehículos a gasolina, también se conecta un ventilador, que cumple la función de enfriar al radiador simulando el vehículo en movimiento, y por último se conecta el extractor de gases para la evacuación de todos los gases emitidos por el vehículo.

Una vez concluida etapa de conexión de los equipos, lo siguiente es ingresar los datos del vehículo, en el software del dinamómetro, tales como marca, año, modelo, RPM MAX. Con esto termina la etapa de preparación del vehículo para las pruebas siguientes.

La prueba comienza cuando se enciende el vehículo, y se coloca a este en marcha directa en este caso quinta, para que de esta manera vencer la inercia de los rodillos del dinamómetro, luego de ello el conductor, u operario tiene que mantener al vehículo en marcha directa hasta que llegue a las 3500 RPM mientras tanto el software sigue graficando la potencia a las ruedas.(curva de color azul), una vez que el vehículo llega al máximo de las revoluciones el software indica que se debe quitar la aceleración completamente, entonces el dinamómetro empieza a realizar las mediciones de potencia de arrastre (curva de color verde) la potencia que nos brinda el motor ( curva de color rojo), es la sumatoria de las dos potencia antes mencionadas, (potencia de arrastre + potencia de ruedas) la potencia normal es aquella potencia que nos da el Dinamómetro luego de aplicar la norma ISO 1585(norma) la cual asimila valores ambientales como humedad relativa, temperatura del ambiente, presión de aire, y presión atmosférica. La curva que nos muestra el torque o par del vehículo es la curva de color naranja, esta es la primera fuerza que mide el dinamómetro, ya que es la que tiene que vencer la inercia de los rodillos, y es de igual manera la primera curva en decaer, para dar paso a que potencia siga en ascenso.

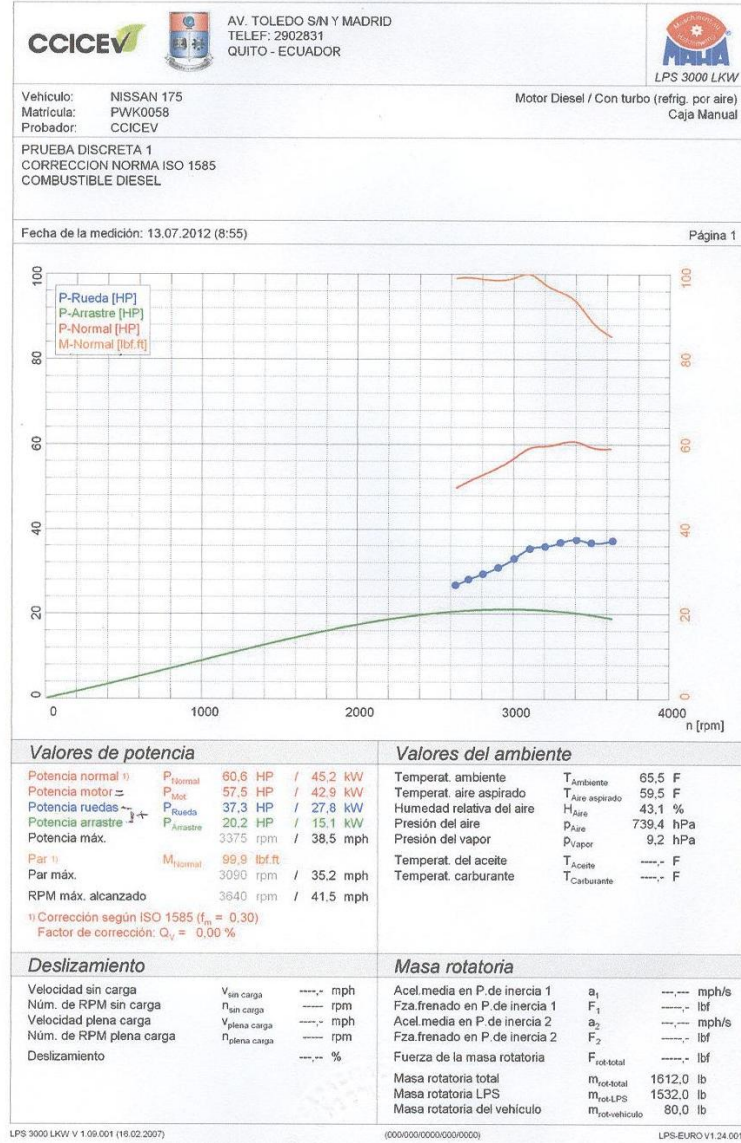
### **3.4 RESULTADO DE LAS PRUEBAS EN DINAMOMETRO COMBUSTIBLE DIESEL.**

A continuación los resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo. Ver figura 3.2 y 3.3

Cave recalcar que se realizaron dos pruebas, ya que de esta manera corroboramos que los datos sean similares.

NISSAN 175 1

viernes, 13 de julio de 2012  
9:02

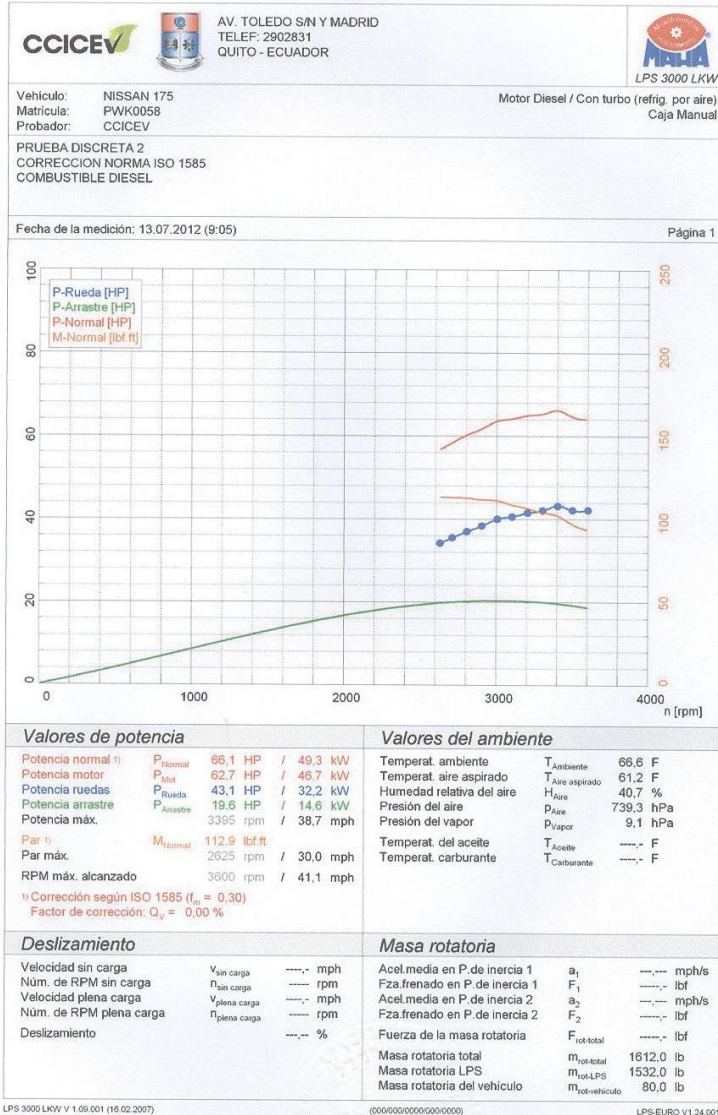


TESIS VOLQUETA página 1

Figura 3.2 Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 parte 1

NISSAN 175 2

viernes, 13 de julio de 2012  
9:08



TESIS VOLQUETA página 2

**Figura 3.3.** Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 parte 2



## **3.5 BIOCUMBUSTIBE**

### **3.5.1 INTRODUCCIÓN AL BIOCOMBUSTIBLE**

Día a día los humanos esperamos como el planeta junto con sus mares, tierra aire, flora y fauna va degradándose, todo se está muriendo, por culpa de la contaminación, incluso los mismos seres humanos, que somos testigos que la salud y la expectativa de vida ya no es misma que en el pasado, y todo esto se debe a la contaminación ambiental. Mientras que toda esta contaminación, emitida por todos y cada uno de nosotros, aunque sea en bajos porcentajes, muchas de las veces sin darnos cuenta siquiera, nos esta costando la vida a todos , pero gran parte de todo este impacto ambiental se debe a la quema de combustibles fósiles cuyos principales contaminantes han dañado la capa de ozono, siendo casi responsables totales del calentamiento global.

En los motores diesel de camiones, autobuses, trenes, embarcaciones marinas, y equipo de construcción, emiten materia particulada, óxidos de nitrógeno, gases de invernadero y gases tóxicos, que contaminan, y son nocivos para la salud.

El único productor de Biodiesel actualmente en el Ecuador es la empresa, La Fabril, con una producción no continua, misma que no se encuentra al alcance del consumidor nacional, ya que esta producción está destinada para ser enviada a Estados Unidos. Es en donde nace la idea de una producción de Biodiesel a partir de Aceite Vegetal usado mediante dos métodos de conversión. (Alcalino de una etapa y Acido Base de dos etapas). En la Universidad Tecnológica Equinoccial sede Santo Domingo, Por la Srta. Mirian Urbano.

Una vez obtenido el Biodiesel se realizo un análisis teórico de las principales características del mismo:

- Densidad
- Calor específico
- Índice Cetano.
- Punto de inflamación
- Índice de Acidez del Biodiesel.
- Viscosidad

### **3.5.2 ANÁLISIS DEL BIODIESEL**

Existen muchas normas que especifican los requerimientos mínimos de calidad que debe cumplir el biodiesel como combustible, entre las normas más completas, se encuentra las normas Europeas y las mismas Americanas (ASTM06751) en los últimos citados se basan las mismas INEN 2482 para biodiesel dentro de nuestro país las que especifican los rangos que deben cumplir los diferentes parámetros y los procedimientos para la respectiva determinación de la calidad del Biodiesel

En cumplimiento con el objetivo se presentan los siguientes resultados del análisis en referencia a las normas europeas y ASTM 06751, en la Normativa INEN, aplicable en el Ecuador.

En la tabla 3.3 se observan los diferentes parámetros de calidad del biodiesel tanto del método acido-base que fueron analizados en el laboratorio. Los resultados obtenidos son valorados con las Normas Europeas e INEN 2483

**Tabla: 3.3.** Resultados de B100 vs Normas de Especificación

**Especificación de las normas vs los resultados obtenidos del biodiesel**

PARAMETRO PARA EL B100	NORMAS EUROPEAS	INEN 2482 (ASTM D6751)	MÉTODO ALCALINO	MÉTODO ÁCIDO
Gravedad específica Kg/m <sup>3</sup>	850 – 900 Kg/cm <sup>3</sup>	860 – 900 Kg/m <sup>3</sup>	885 Kg/m <sup>3</sup>	887
Densidad API (15°C)	-----	-----	28.3°C	28°C
Punto de inflamación °C	>101°C	100°C mínimo	101°C	103°C
Agua y sedimento (Vol. %)	0.050% máx.	0.050% máx.	0.0 %	0.0 %
Viscosidad cinemática (40°C)	3.5 – 5.0 cSt	1.9 – 6.5 cSt.	7 cSt	7.02 cSt
Índice de cetano calculado	51 mínimo	40 mínimo	45.5	44.9
Contenido de azufre	10%	10%	0.01126%	0.01025%
Corrosión a la lámina de cobre	1a	3a	1a	1a
Destilación al 90%	360°C	360°C	337°C	332°C
Índice de acidez (mg KOH/gr)	0.5 máximo	0.5 máximo	0.2mg KOH/gr	0.25mg KOH/gr

**Elaborado por:** Urbano, Miryan 2012

(Borja, 2011)

A continuación se detalla cada parámetro y análisis valorado.

### 3.5.2.1 Densidad

La densidad API realizada a 150°C dio como resultado 28,7°API con una gravedad específica de 885 kg/m<sup>3</sup> para el método alcalino, en cambio para el método ácido-base se obtuvo un valor de 28°C con una gravedad específica de 887 kg/m<sup>3</sup>.

Ambos métodos cumplen en los límites permisibles de las Normas Europeas que establecen un rango de 850 – 900 kg/m<sup>3</sup>. Teniendo en ambos metodologías similares resultados. Ver figura 3.4

Por lo tanto la densidad del biodiesel analizado no afectara el consumo de combustible que ingreso en la cámara del motor que menciono Kien Cheah en 1997

### **3.5.2.2 Punto de inflamación**

En el punto de inflamación o inyección del biodiesel obtenido por el método PNE/DPEC/ASTM D 287 dio como resultado 108.2°C, con esto se puede verificar que este Biocombustible se encuentra dentro del rango, y cumple con los límites permisibles establecido por las Normas Europeas ISO-1585 que estiman un rango mayor a los 101°C y las Normas INEN con un rango mínimo de 100°C

Este parámetro generalmente se determina para satisfacer la seguridad del combustible para utilizarlo como también para almacenarlo sin correr ningún riesgo y para conocer si existe una cantidad excesiva de metanol no reaccionado en el proceso de transesterificación según (Kien Chech, 1997). Ver figura 3.4



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



INFORME DE RESULTADOS  
 PETROLEO

Informe N° 13-05-08-P-1  
 Fecha 2013-05-23

Referencia: OT: 13-05-08-P  
 Atención: Sr. Oscar Lozada  
 Empresa: ESTUDIANTE UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL  
 Dirección: Av. La Ferroviaria  
 Tipo de ensayos: Análisis Físicoquímicos  
 Tipo de muestra: Biodiesel  
 Identificación de la muestra: Biodiesel (20-05-2013)  
 Descripción de la Muestra: Sin descripción específica  
 Fecha de ingreso de la muestra: 21-05-2013  
 Muestra tomada por: EL CLIENTE  
 Código de muestra: OE-13-05-08-P-1  
 Fecha de realización de ensayos: 21-05-2013

DETERMINACIÓN	UNIDADES	MÉTODO	RESULTADO
Punto de inflamación <sup>(1)</sup>	°C	PNE/DPEC/P/ASTM D 93	108,2
Densidad API a 60° F <sup>(2)</sup>	°API	PNE/DPEC/P/ASTM D 287	28,7

Observaciones: (1) Incertidumbre asociada a la medida del Punto de Inflamación  $U = \pm 20^\circ\text{C}$  ( $K=2$ )  
 (2) Incertidumbre asociada a la medida de la Densidad API,  $U = \pm 2,0$  °API ( $K=2$ )

Condiciones Ambientales.- Presión: 544,8 mm Hg; Temperatura: 20,0 °C

Realizado por: CEGE



Revisado Por:

Ing. Marcelo Guzmán A.  
 RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado Por:

Ing. Gilberto Moya D., Dpl.  
 DIRECTOR DEL LAB. DEL DPEC

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

Dirección: Francisco Viteri s/n y Gilberto Gato Sobral Teléfono: 2904794 / 2544631 ext. 26 Fax: 2529676 E-mail: dpec@iqtuce.edu.ec  
 QUITO - ECUADOR

MC2201-P01-5

Hoja 1 de 1

Figura 3.4. Resultados de ensayos en Biodiesel

### **3.5.2.3 Viscosidad**

La viscosidad cinemática a 40°C dio como resultado 7cSt para el método alcalino y 7.02cSt en el método ácido-base, resultados similares que presentan valores altos que exceden los límites permisibles por las Normas Europeas que establecen un rango de 3.5 – 5.0cSt en cambio las misma INEN tiene un rango de 1.9 – 6.5cSt por lo tanto la viscosidad no esta dentro de los parámetros permisibles. Ver figura 3.5

Valor demasiado alto que se debe al exceso de glicerina en el biodiesel.

### **3.5.2.4 Consecuencia de la Alta Viscosidad**

Un valor tan alto de viscosidad más puede traer consecuencia en los inyectores y en la bomba de inyección (Kien Chech, 1997) menciono que se debe poseer una viscosidad mínimo para evitar perdida de potencia debidas a las fugas en la bomba de inyección y el inyector, además le da características de lubricidad al sistema de combustible. Por la otra parte también se limita la viscosidad máximo por consideraciones de diseño y tamaño de los motores y en las características del sistema de inyección.

### **3.5.2.5 Índice Cetano.**

El índice cetano calculado da como resultado por el método alcalino 45.5 en cambio por el método ácido-base se obtuvo como valor 44.9, estos valores no están dentro de los parámetros permisibles por las Normas Europeas que

tienen un mínimo de 51 sin embargo se cumple con la Norma INEN-1585 lo que tiene un mínimo de 40.

Según Kien Chech, en 1997 mencionó que es una medida de la calidad de ignición de un combustible que influye en las emisiones de humo y en la calidad de la combustión por lo tanto el número de cetano depende del diseño y tamaño del motor de la variación de la carga y velocidad y coordinación de arranque y atmosféricas. Un bajo índice de cetano conlleva a ruidos en el motor, prolongando el retraso de la ignición y aumentando el peso molecular de los emisores. Por lo tanto no es factible de que ocurra este problema ya que este biodiesel se encuentra bajo los parámetros de las Normas INEN.

#### **3.5.2.6 Índice de Acidez del Biodiesel.**

El índice de acidez obtuvo como resultado para el método alcalino de 0.2mg KOH/gr mientras que en el método ácido-base tiene un valor de 0.25mg KOH/gr en ambos casos cumplen con las Normas Europeas e INEN-1585 que tienen un rango máximo de 0.5mg KOH/gr se puede decir que los ácidos grasos han reaccionado casi en su totalidad.

Por tanto se puede decir que los gramos de NaOH utilizado fueron las necesidades para reutilizar los ácidos grasos libres presentes en un litro de aceite vegetal usado constituyendo una medida del grado de hidrólisis de una grasa. Ver figura 3.5

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>TERMINAL SANTO DOMINGO</b>		RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO		
ANÁLISIS	NORMA	ESPECIF. NORMA ASTM	ALCALINO	ÁCIDO
			MUESTRA 1	MUESTRA 2
GRAVEDAD ESPECÍFICA 15.6 /15.6	ASTM D-1298	0.86-0.90	0,8854	0,8871
DENSIDAD API A 15.6			28,3	28,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	INEN 1493	51 Mín.	101	103
AGUA Y SEDIMENTO (%V)	INEN 1494	Max. 0,05%	0,00	0,00
VISCOSIDAD CIN. A 40°C (cSt)	INEN 810	2,5-6,0	7,00	7,02
INDICE DE CETANO CALCULADO	INEN 1495	Mín 49	45,50	44,90
CONTENIDO DE AZUFRE (%p/p)	INEN 929	Máx. 0,05	0,01126	0,01025
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE	INEN 927	Máx. 1	1a	1a
DESTILACIÓN:	INEN 926			
P.I.E. (°C)		Reporte	143	168
10% (°C)		Reporte	328	326
50% (°C)		Reporte	387	332
<b>OBSERVACIONES:</b> N/D: No determinado. Los análisis realizados se hicieron bajo normas INEN.		 <b>DRA. SILVIA JIMENEZ</b> <b>ANALISTA LABORATORIO SANTO DOMINGO</b>		

**Figura: 3.5** Resultados de Análisis del Biodiesel al 100%

(Borja, 2011)

### 3.6 UTILIZAICON DEL BODIESEL

Para la utilización del biocombustible, lo primero en tomar en cuenta fue las características tanto físicas como químicas del fluido. Al cumplir con las especificaciones que dicta la norma INEN-1585, se determino que tanto el motor como la bomba de inyección no necesitaban modificaciones a sus



elementos, lo siguiente en realizarse fue un mantenimiento preventivo la bomba de inyección, ya que era necesario que esta se encontrara en correcto funcionamiento, tanto para las pruebas con Diesel como con Biodiesel esto quiere decir con cada uno de sus elementos trabajando correctamente y en buen estado para que pudiera asimilar el biocombustible. En la bomba de inyección e inyectores se realizó, chequeo y revisión de toberas y propulsores, cambio de kit de empaques, cambio de boquillas, cambio de bomba de cebado manual, entre otros arreglos como cambio de arandelas en el turbo, retorno. De igual manera se realizó el mantenimiento preventivo al motor, tales como. Cambio de aceite, cambio de filtro de aire, cambio de filtros de combustible.

Para poder utilizar el biocombustible primero se realizó un proceso de filtrado, del biocombustible, para eliminar almidones.

Realizados los mantenimientos, y el proceso de filtrado del biocombustible, este se cargó en el tanque del vehículo. Encendiendo el motor por varios minutos hasta eliminar los residuos de Diesel, el motor por medio de los gases de escape comenzó a dar un olor a frituras que es emitido por la combustión del mismo. A través del tubo de escape, la reducción y el cambio de color de los gases de combustión también se pudo notar una pequeña caída de revoluciones, lo que vino a regularizarse casi inmediatamente.

### 3.7 PRUEBAS (BIODIESEL)

De igual manera que con combustible DIESEL se realizaron pruebas con combustible BIODIESEL, (PRUEBAS DE RUTA Y PRUEBAS EN DINAMOMETRO)

### **3.6.1 PRUEBAS EN CUESTA (BIODIESEL)**

Una vez que el vehículo ya se encontraba funcionando correctamente con Biodiesel, teníamos que realizar las pruebas de ruta, para ello era importante realizarlo en los mismos lugares en donde se realizaron las pruebas de ruta con combustible Diesel.

Para realizar esta prueba, el vehículo (NISSAN FD6T-175) utilizo Biodiesel, luego de ello se tomó el mismo punto de referencia que se tomo en la calle (avenida Simón Bolívar); este fue el punto cero, en donde la volqueta fue parada, y desde allí partió en primera marcha, en el momento que el conductor cambio a segunda marcha otra persona marco en la calle la distancia, misma que fue medida después, para conocer la cantidad de metros que recorrió desde el punto cero hasta donde se realizo el cambio de primera a segunda la medida fue anotada en una tabla diseñada para la toma de las pruebas de ruta. Luego de que el conductor conducía el vehículo en segunda marcha hasta que fue necesario realizar el cambio de segunda a tercera y nuevamente el copiloto dejaría la marca en el piso, y la medida de esta fue tomada desde el punto donde se realizó el cambio de primera a segunda y nuevamente se repite el mismo proceso de tercera a cuarta, y la medida fue tomada desde el punto donde se realizó el cambio de segunda a tercera. Este proceso se lo realizo de la misma manera por dos ocasiones

A continuación se presenta un cuadro de las medidas tomadas las pruebas en cuesta. Ver tabla 3.4.

**Tabla 3.4.** Prueba en cuesta Biodiesel

PUEBA EN CUESTA ( BODIESEL )		
DISTANCIA (METROS)		
PRUEBA Nº	1	2
PRIMERA	14.20 m	12.50 m
SEGUNDA	30.90 m	32.20 m
TERCERA	85.80 m	50.90 m
CUARTA	108.40 m	90.70 m
TOTAL	239,3	186,3

### 3.6.2 PRUEBAS EN PLANO (BODIESEL)

Las pruebas en plano (Biodiesel), al igual que las pruebas en plano(Diesel) se las realizaron en la avenida Simón Bolívar, y el proceso fue exactamente similar con la diferencia que el combustible ya fue cambiado, y el proceso fue similar al procedimiento de las pruebas realizadas en plano y encuesta. Se marcó un punto de referencia, o punto cero en donde el vehículo se encontraba parado funcionando con combustible Biodiesel, y desde allí partió en primera marcha, hasta el momento que el conductor cambio la marcha, (de primera a segunda) y de igual manera el copiloto dejo una marca en la calle, que fue medida desde el punto cero, luego de que el conductor conducía en segunda marcha y se realizó el cambio a tercera, se tomó la medida desde el segundo punto en donde se realizó el primer cambio, de primera a segunda, el vehículo se encontraba en tercera y se realizó el mismo proceso para tomar la medida desde el cambio de segunda a tercera. Este proceso se lo realizo de la misma manera por dos ocasiones. Ver tabla 3.5.

**Tabla 3.5.** Prueba en Plano Biodiesel

PRUEBA EN PLANO ( BIODIESEL )		
DISTANCIA (METROS)		
PRUEBA Nº	1	2
PRIMERA	9,4	12,4
SEGUNDA	21,5	24,8
TERCERA	46,1	45,5
CUARTA	85,3	79,1
TOTAL	162,3	161,8

### **3.6.3 PRUEBA DE: TORQUE, POTENCIA, CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y OPACIDAD. (BIODIESEL)**

De la misma forma que se realizaron las pruebas de torque, potencia y opacidad con Diesel en el dinamómetro del CCICEV (Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares), se realizaron con Biodiesel.

El proceso comienza una vez que se ingresa con el vehículo (volqueta NISSAN fd6t-175) a las instalaciones del CICCEV, luego de ello el personal ayudó a parquear el vehículo que iba a ser sometido a pruebas, sobre los rodillos del Dinamómetro, para ello hay que tener en cuenta que este debe encontrarse centrado sobre los rodillos, esto se verifica poniendo al vehículo en marcha, y observando que este no tienda a desviarse hacia ningún lado. Una vez terminada esta fase, se procedió con la fase de sujeción del vehículo, que consiste en sujetar al vehículo mediante correas hacia soportes ubicados en las paredes de la fosa del Dinamómetro, y de igual forma se sujeta al vehículo con otras correas de sujeción, pero esta se la realiza mediante cilindros hidráulicos que presionan al vehículo contra los rodillos para simular que este se encuentra a carga máxima. luego que este se encuentra sujetado se conectan el resto de equipos como: sensor piezoeléctrico, este se encarga de emitir los pulsos de

inyección desde el primer cilindro. Realizando una comparación este imita un cable de alta tensión o de bujía en caso de vehículos a gasolina, también se conecta un ventilador, que cumple la función de enfriar al radiador imitando la carga de aire que ingresa a través del radiador para enfriar al motor, y por último se conecta un extractor de gases el cual se encarga de la evacuación de todos los gases emitidos por el vehículo.

Una vez concluida la etapa de conexión de los equipos lo siguiente consiste en ingresar los datos del vehículo, en el software del dinamómetro, como marca, año, modelo, RPM MAX, y torque. Con esto termina la etapa de preparación del vehículo para las pruebas siguientes.

La prueba comienza cuando se enciende el vehículo, y se coloca a este en marcha directa en este caso quinta, para que de esta manera venza la inercia de los rodillos del dinamómetro, luego de ello el conductor, u operario tiene que mantener al vehículo en marcha directa hasta que llegue a las 3500 RPM mientras tanto el software sigue graficando la potencia a las ruedas.(curva de color azul), una vez que el vehículo llega al máximo de las revoluciones el software indica que se debe quitar la aceleración completamente, entonces el dinamómetro empieza a realizar las mediciones de potencia de arrastre (curva de color verde) la potencia que nos brinda el motor ( curva de color rojo), es la sumatoria de las dos potencia antes mencionadas, (potencia de arrastre + potencia de ruedas) la potencia normal es aquella potencia que nos da el Dinamómetro luego de aplicar la norma ISO 1585(norma) la cual asimila valores ambientales como humedad relativa, temperatura del ambiente, presión de aire, y presión atmosférica. La curva que nos muestra el torque o par del vehículo es la curva de color naranja, esta es la primera fuerza que mide el dinamómetro, ya que es la que tiene que vencer la inercia de los rodillos, y es de igual manera la primera curva en decaer, para dar paso a que potencia siga en ascenso.

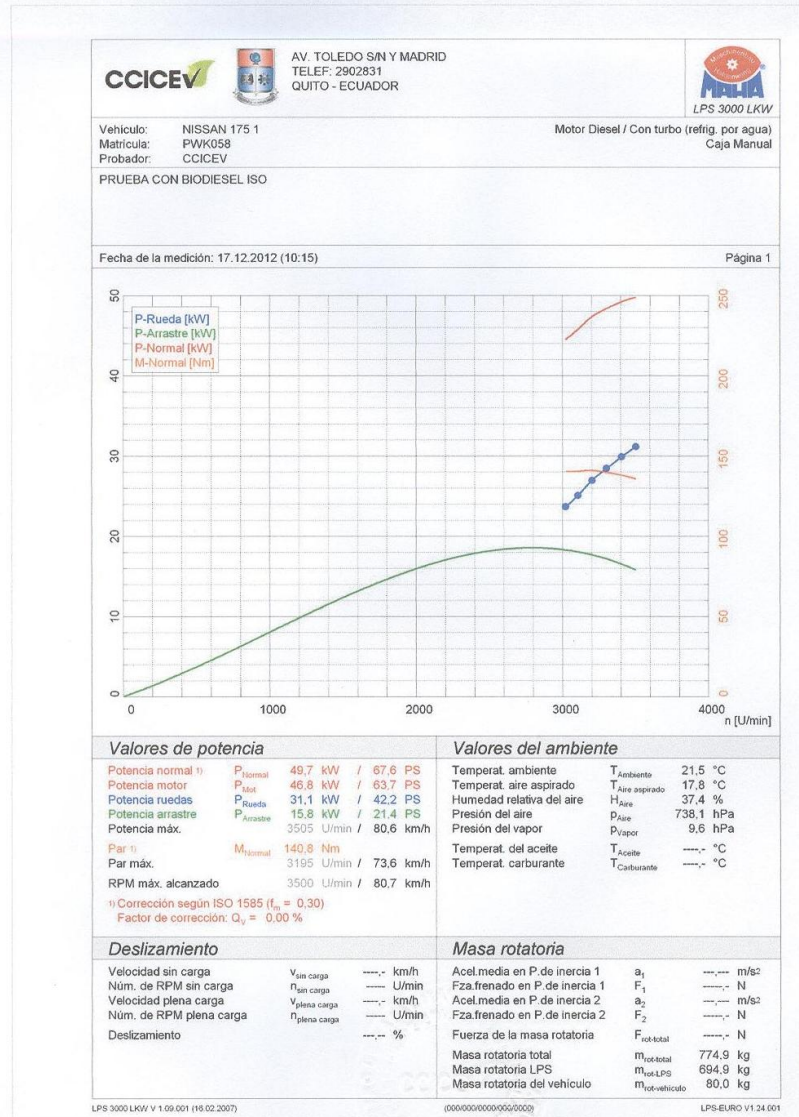
Cave recalcar que en el proceso de medición las revoluciones no pudieron alcanzar el mismo número de revoluciones que en las pruebas realizadas con Diesel por un número de 100 RPM

#### **3.6.4 RESULTADO BIODIESEL.**

A continuación presento resultados de las pruebas de TORQUE y POTANCIA realizadas a vehículo NISSAN fdt-175 con biodiesel. Ver figuras 3.6 y 3.7.

NISSAN 175 1

lunes, 17 de diciembre de 2012  
10:21

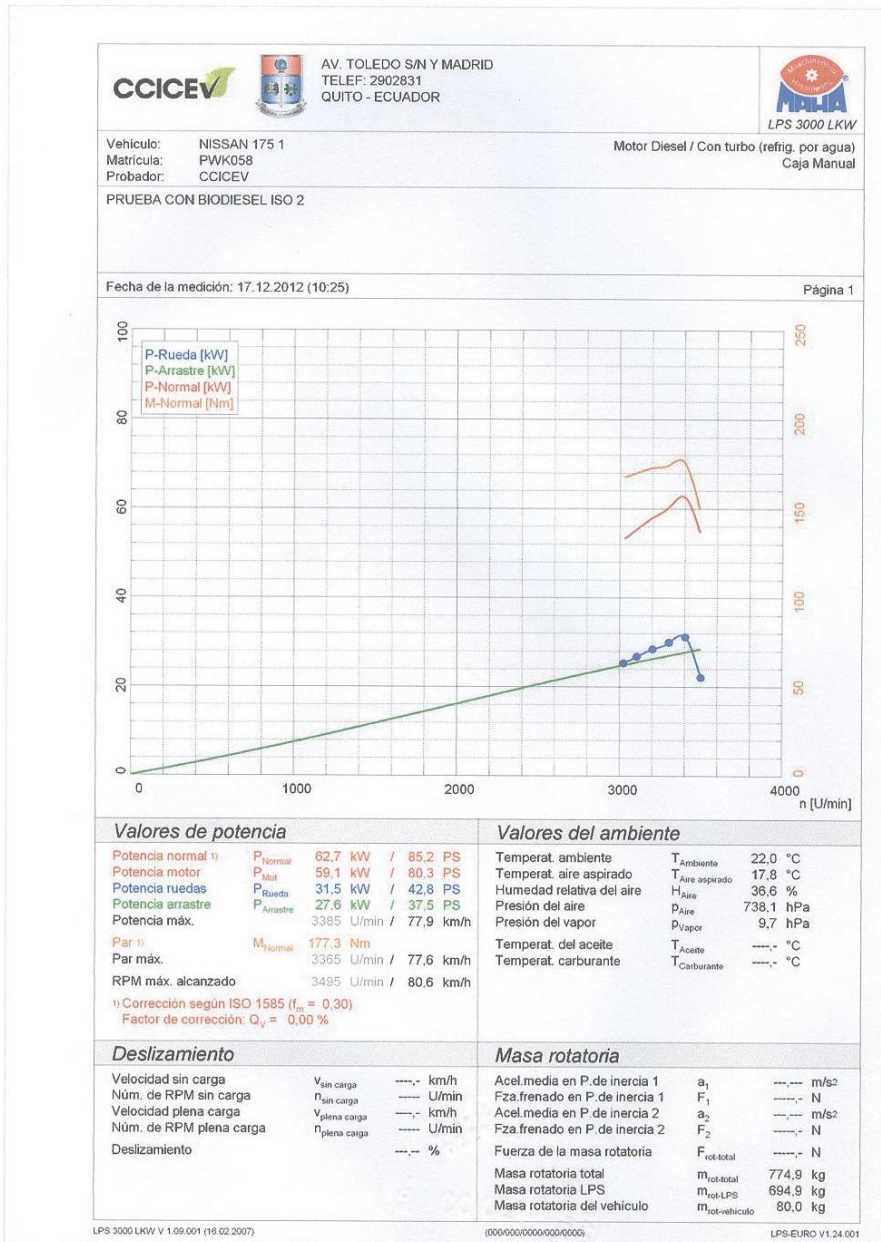


TESIS VOLQUETA BIODIESEL página 1

Figura 3.6. Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 con biodiesel parte 1

# NISSAN 175 2

lunes, 17 de diciembre de 2012  
10:35



**Figura 3.7.** Resultados de las pruebas de TORQUE y POTENCIA realizadas a vehículo NISSAN FD6T-175 con biodiesel parte 2



## **3.7 COMPARACIONES**

A continuación se verificara cada uno de los valores obtenidos durante el transcurso de este proyecto, ya que es muy importante determinar cuales son los valores exactos, y a que se debe cada uno de ellos, para lo que se analizara las curvas obtenidas tanto con diesel como con biodiesel, al igual que sus opacidades.

### **3.7.1 CUADRO DE COMPARACION DE PRUEBAS ENTRE DIESEL Y BIODIESEL**

A continuación se presenta un cuadro, en el que se puede apreciar la variación de los resultados entre las pruebas realizadas con Diesel y Biodiesel, para ello es primordial entender el modo de operación de cada una de las medidas.

- **POTENCIA DE LAS RUEDAS:** esta medida es la primera en ser tomada, y el procedimiento de esta consiste en que se debe colocar al vehículo en marcha directa (relación de transmisión 1 a 1), y soltar el embrague para que este pueda vencer la fuerza de inercia, luego de ello se debe mantener al vehículo acelerado mientras que el software del dinamómetro va graficando la potencia en mención, este procedimiento se genera hasta que el motor llega al máximo de las revoluciones de los valores la hoja técnica ingresados en el sistema.
- **POTENCIA DE ARRASTRE:** este valor se genera luego de que el vehículo ha vencido la fuerza de inercia, se ha tomado el valor de

potencia de las ruedas, y consiste en soltar el acelerador en el momento que la potencia de las ruedas comienza su carrera descendente, esto lo dicta el software del dinamómetro mediante una señal en la pantalla del mismo, luego de que se suelta el pedal del acelerador comienza la potencia del freno o potencia de arrastre a medida de que las ruedas van perdiendo velocidad.

- **POTENCIA DEL MOTOR:** la potencia del motor, consiste en la sumatoria de las dos antes mencionadas potencias (POTENCIA DE ARRASTRE Y POTENCIA DE LAS RUEDAS).
- **POTENCIA NORMAL:** la potencia normal, se trata de la potencia del motor, pero dentro de los parámetros de la norma ISO 1585, la cual realiza correcciones a la medida POTENCIA MOTOR, en valores de:

Temperatura Ambiente

Temperatura de Aire Aspirado

Humedad Relativa del Aire

Presión del Aire

Lo que se detalla a continuación en los parámetros básicos de la norma ISO 1585. Ver anexo 2 y tabla 3.6

Tabla 3.6 Normas de corrección de Potencia, según diferentes normas

Normas de corrección de potencia (comparación)					
Norma (Fecha de public.)	CEE 80/1269 (4/81)	ISO 1585 (5/82)	JIS D 1001 (10/82)	SAE J 1349 (5/85)	DIN 70 020 (11/76)
Presión barométrica en el recorrido de prueba (*presión de vapor restada)					
seca $p_{PT}^*$ kPa	99	99	99	99	—
absoluta $p_{PF}$ kPa	—	—	—	—	101,3
Temperatura en el recorrido de prueba					
absoluta $T_p$ K	298	298	298	298	293
<b>Motores Otto, funcionamiento de aspiración o sobrealimentado</b>					
Factor de corrección $\alpha_a$	$\alpha_a = A^{1,2} \cdot B^{0,5}$ $A = 99/p_{PT}$ $B = T_p/298$				$\alpha_a = A \cdot B^{0,5}$ $A = 101,3/p_{PF}$ $B = T/293$
Potencia corregida: $P_0 = \alpha_a \cdot P$ (kW) ( $P$ potencia medida)					
<b>Motores Diesel, funcionamiento de aspiración o sobrealimentado</b>					
Factor de corrección atmosf. $f_a$	$f_a = A \cdot B^{0,7}$ ( $A = 99/p_{PT}$ ; $B = T_p/293$ ) (Motores de aspiración y motores sobrealimentados mecánicamente)				como $\alpha_a$ en motores Otto
	$f_a = A^{0,7} \cdot B^{1,5}$ ( $A = 99/p_{PT}$ ; $B = T_p/293$ ) (Motores con turboalimentador con/sin refrigeración del aire de alimentación)				
Factor de corrección del motor $f_m$	$40 \leq q/r \leq 65$ : $q/r < 40$ : $q/r > 65$ :	$f_m = 0,036 \cdot (q/r) - 1,14$ $f_m = 0,3$ $f_m = 1,2$			$f_m = 1$
$r = p_v/p_E$ comportamiento de compresión de la sobrealimentación, siendo $p_v$ presión de admisión absoluta, $p_E$ presión absoluta antes del compresor, $q$ consumo espec. de combustible (SAE J 1349). Motores de 4 tiempos: $q = 120.000 F/DN$ , motores de 2 tiempos: $q = 60.000 F/DN$ , siendo $F$ caudal de combustible (mg/s), $D$ cilindrada (l); $N$ número de revoluciones del motor (rpm).					
Potencia corregida: $P_0 = P \cdot f_a^{fm}$ (kW) ( $P$ potencia medida)					
<b>Grupos auxiliares prescritos</b>					
Ventilador	Sí, con ventilador eléctrico o hidrostático con deslizamiento máx.				} No definido
Purificación de los gases de escape	Sí				
Alternador	Sí, sometido a toma de corriente del motor				Sí
Servobombas	No				No
Instalación de climatización	No				No

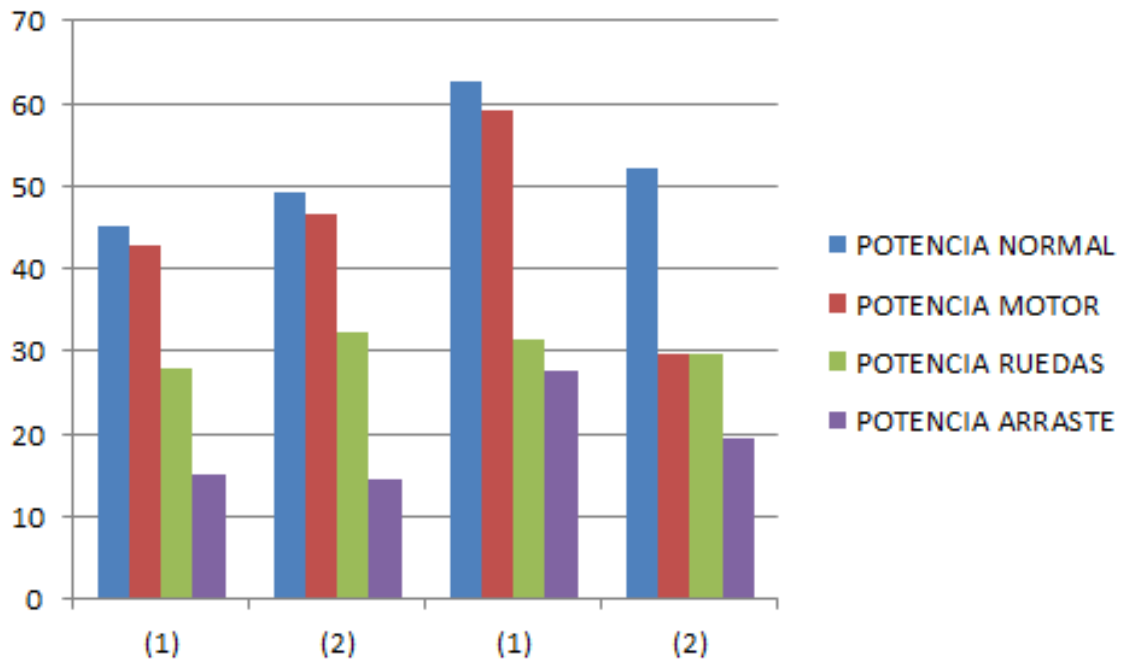
(Normalización, 2011)

En la tabla 3.5 se puede apreciar los diferentes resultados de las pruebas de torque y potencia, realizadas con Diesel y Biodiesel, en la que se puede notar como los valores de el Biodiesel an aumentado en relación a los del diesel, en las dos pruebas que se realizo con cada uno de ellos.

**Tabla 3.7.** Comparación de pruebas entre diesel y biodiesel

TABLA DE COMPARACION DE VALORES				
COMBUSTIBLE	DIESEL		BIODIESEL	
PRUEBA N°	(1)	(2)	(1)	(2)
POTENCIA NORMAL	45,2 KW	49,3 KW	62,7 KW	52,0 KW
POTENCIA MOTOR	42,9KW	46,7 KW	59,1 KW	49,0 KW
POTENCIA RUEDAS	27,8 KW	32,2 KW	31,5 KW	29,6 KW
POTENCIA ARRASTRE	15,1 KW	14,6 KW	27,6 KW	19,4 KW
POTENCIA MAX	3375 RPM	3395 RPM	3385 RPM	3480 RPM
PAR	99,9 lbf.ft	112,9 lbf.ft	177,3 Nm	144,9 Nm
PAR MAX	3090 RPM	2625 RPM	3365 RPM	3385 RPM
RPM MAX	3640 RPM	3600 RPM	3495 RPM	3500 RPM

En la figura 3.8 se puede apreciar un grafico donde se muestran los valores adquiridos en las pruebas de diesel vs las pruebas de biodiesel, que fueron mencionados con anterioridad en la tabla 3.7.



**Figura: 3.8** Cuadro estadístico de medición de Potencias

POTENCIA NORMAL, tiene un valor medio de 47.25 KW con Diesel, y de 57.35 KW con Biodiesel.

POTENCIA MOTOR, tiene un valor medio de 44.8 KW con Diesel, y de 54.05 con Biodiesel.

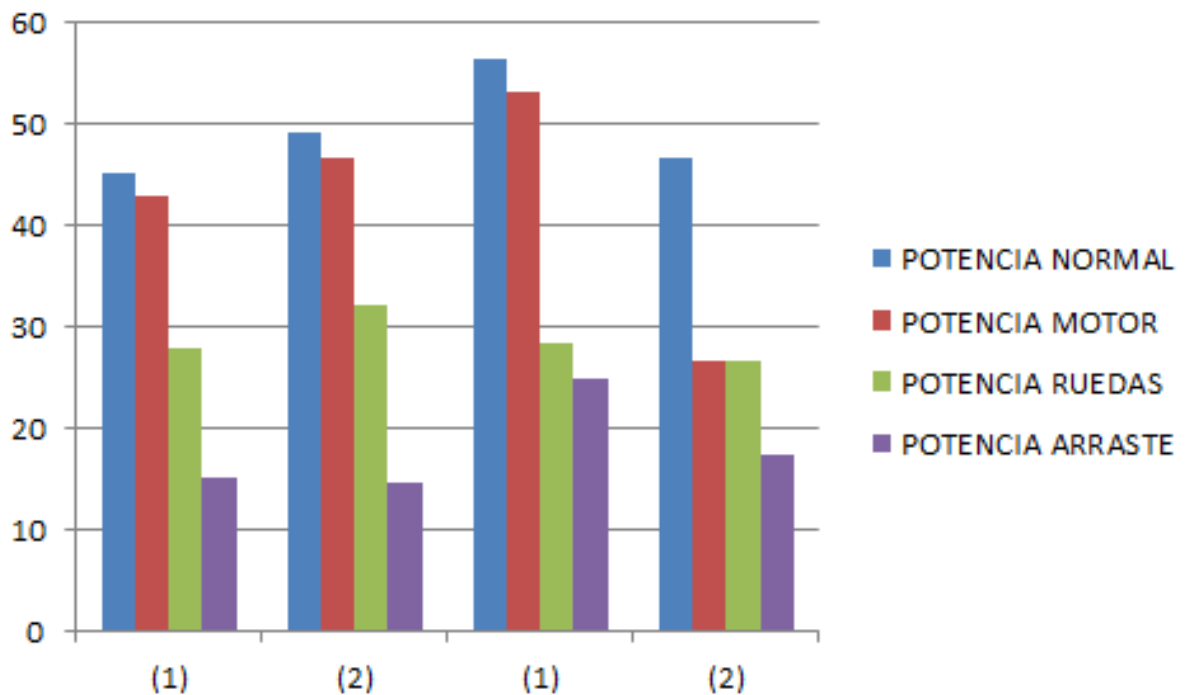
POTENCIA RUEDAS, tiene un valor medio de 30 KW con Diesel, y de 30.55 con Biodiesel.

POTENCIA ARRASTRE, tiene un valor medio de 14.85 KW con Diesel, y de 23.5 con Biodiesel.

PAR, tiene un valor medio de 106.4 lb.ft con Diesel, y de 161.1 con Biodiesel

RPM MAX, tiene un valor medio de 3620 RPM con Diesel, y de 3497.5 con Biodiesel, es por este motivo que las pruebas de Torque y Potencia no se

pudieron realizar con los mismos datos, ya que el motor no alcanzó la misma cantidad de RPM con el Biodiesel debido a que su poder calorífico es menor que el del Diesel, esto fue en un valor de 100 RPM por que la Prueba no pudo realizarse, para solucionar este problema se tuvo que realizar cambios en el software del dinamómetro cambiando el valor máximo de las RPM lo que afecta en un porcentaje del 10% de los valores impresos, por este motivo también aumento el resultado final de el consumo específico. En la figura 3.9 se puede apreciar el cuadro estadístico de las potencias ya restado el valor del 10% de las RPM pérdidas por el bajo porcentaje del poder calorífico.



**Figura: 3.9. Cuadro estadístico de medición de Potencias menos el 10%**

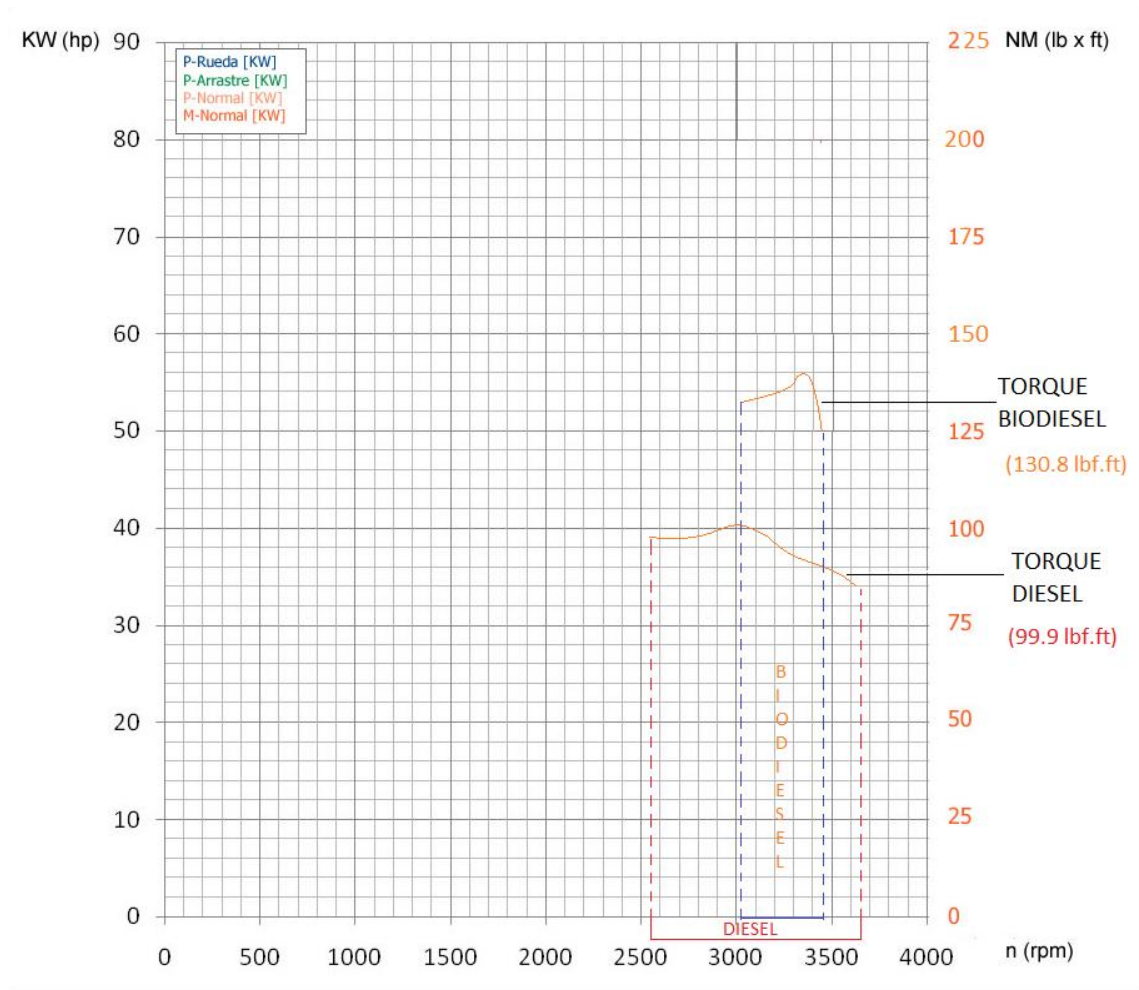
### **3.7.1 DIAGRAMAS DE COMPARACION DIESEL VS BIODIESEL**

A continuación se presenta una serie de diagramas de comparación en los cuales se puede apreciar la inestabilidad del biocombustible, en comparación con el Diesel, lo cual parte de los cálculos anteriormente expuestos, ya que al tener un bajo poder calorífico el motor requiere ingresar una cantidad mayor de combustible (energía) pero este no tiene el mismo desempeño que tiene el combustible normal, a continuación se presenta una serie de cuadros comparativos tanto del torque con Diesel y del Biodiesel, Potencia Normal, Potencia de Arrastre, Potencia a la Rueda.

#### **3.7.1.1 Comparación de Torques**

En el siguiente cuadro se puede apreciar la inestabilidad que tiene el biodiesel ya que en las distintas graficas de torque, este tiende a realizar un trabajo violento, esto quiere decir que el torque o fuerza motriz desciende muy rápido, a lo contrario del Diesel que como se puede apreciar en la figura 0.00 su trabajo, o fuerza motriz es más controlada.

Por otra parte también se puede apreciar que el valor de Torque del Biodiesel es mayor que el de Diesel, con lo que se puede constatar el mayor consumo de combustible, ya que para generar esa cantidad de torque se necesita una mayor cantidad de material o combustible. Ver figura 3.10



**Figura: 3.10** Comparación de torques Diesel vs Biodiesel

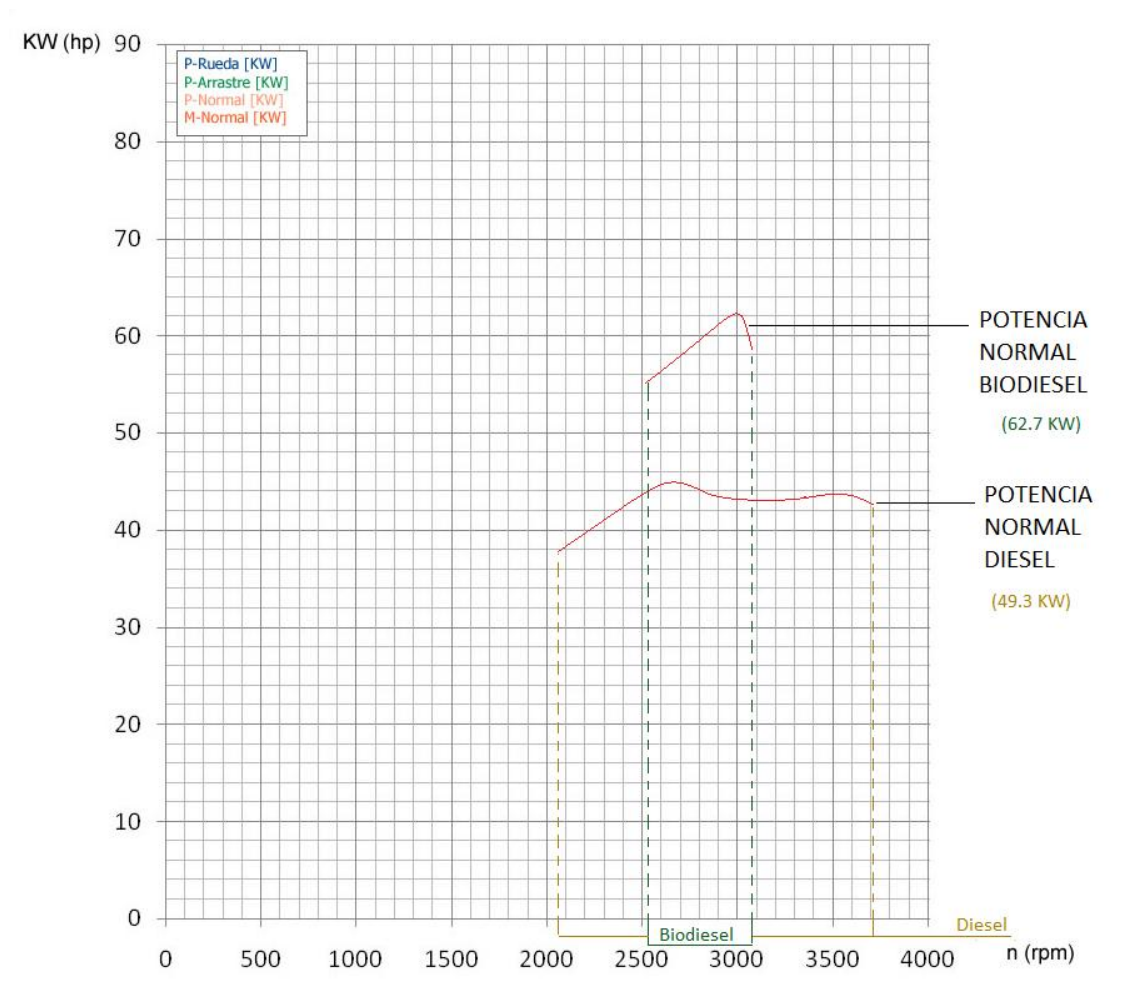
### 3.7.1.2 Comparación de Potencias Normales

Una vez que termina la carrera del torque comienza la carrera de potencia, en la que también se puede apreciar la inestabilidad de la curva, que se debe a la inestabilidad del Biocombustible, por otra parte es claro notar que al ser inestable el torque y generar un descenso demasiado violento, la potencia



necesita quemar una mayor cantidad de combustible para poder mantener estable el trabajo que está realizando el motor, con ello también se puede constatar el mayor consumo de combustible.

En la figura 3.11 se puede apreciar la diferencia de valores de Potencia Normal en la cual aplica la norma ISO 1585, ver anexo 0.00 en lo que refiere a corrección de potencias, por otra parte se puede apreciar la diferencia de valores en las curvas.



**Figura: 3.11** Comparación de P Normal Diesel vs Biodiesel

### 3.7.1.3 Comparación de Potencias de Arrastre.

En la figura 3.12 se puede verificar el declive de la Potencia de Arrastre con biodiesel en comparación con la P. de Arrastre Con diesel, lo cual se debe a la inestabilidad que presenta el biodiesel en funcionamiento.

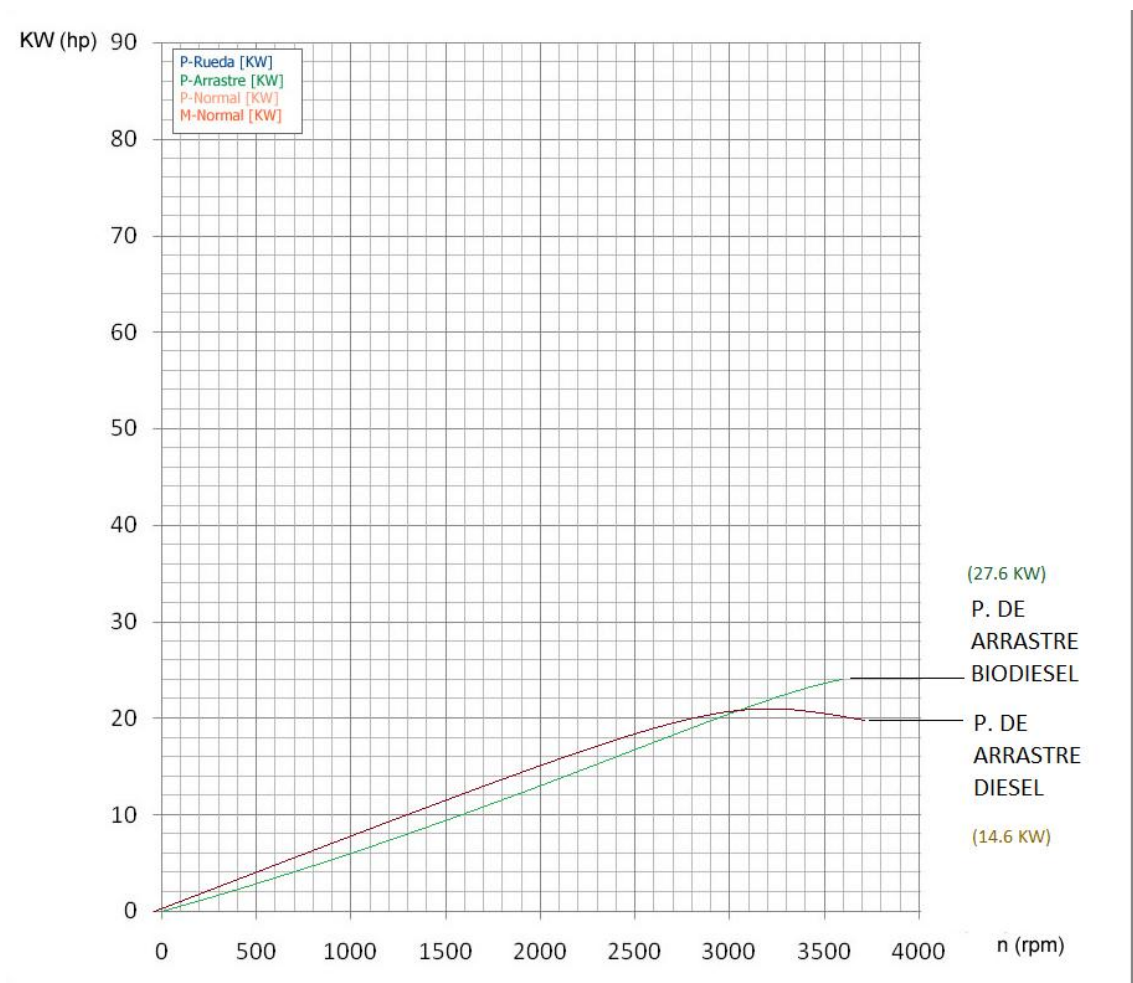


Figura: 3.12 Comparación de P de Arrastre Diesel vs Biodiesel

### 3.7.3 OPACIDADES

El tema de la contaminación ambiental es primordial, sobre todo cuando estamos hablando de Biocombustibles, ya que al escuchar la palabra biocombustibles nos imaginamos 0% de contaminación, pero que tan cierto hay en todo esto?

Como se han demostrado en estudios Realizados a nivel mundial, sobre todo por los países donde la contaminación ha sobrepasado los límites permisibles y tolerables por la humanidad, todo ello se debe a la cantidad de azufre contenido en los combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, lo cual se convierte en Óxidos de Azufre (SOx), al momento de realizarse la combustión dentro del motor, pero una vez que este oxido toma contacto con la atmosfera estos se convierten en ácidos sulfúricos (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), los cuales causan efectos sobre la salud humana.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en las mediciones de opacidad, tanto con combustible Diesel como Biodiesel. Ver figuras 3.13 y 3.14



Maschinenbau Haldenwang  
Hoyen 20  
D-87490 Haldenwang  
Tel. 08374/585-0

09:07 HORA 17.12.12

MATRICULA:  
PK0058

TURBO : SI  
VALOR-K MAX. 3.00 m<sup>3</sup>

Nº ENTU  
%

1	99
2	100
3	99
4	99
5	95
6	84

DESVIACION MAX. 15 %  
VALOR MEDIO 93 %

RESULTADOS:  
NO PASADO

PROBADOR:  
CCICEV

Figura; 3.13 Medición de opacidades con Diesel



Maschinenbau Haldenwang  
Hoyen 20  
D-87490 Haldenwang  
Tel. 08374/585-0

11:32 HORA 17.12.12

MATRICULA:  
PWK058

TURBO : SI  
VALOR-K MAX. 3.00 m<sup>-1</sup>

№ ENTU  
%

1	98
2	94
3	94
4	92
5	90
6	86

DESVIACION MAX. 6 %<sup>-1</sup>  
VALOR MEDIO 89 %<sup>-1</sup>

RESULTADOS:  
NO PASADO

PROBADOR:  
CCICEV

Figura; 3.14 Medición de opacidades con Biodiesel

En la figura 3.15 se demuestra el valor de contenido de azufre en el Biodiesel, en el cual se puede apreciar que el valor no llega ni a 1.

 <b>LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD</b> <b>TERMINAL SANTO DOMINGO</b>				
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>				
ANÁLISIS  PRODUCTO	NORMA	ESPECIF. NORMA ASTM	ALCALINO	ÁCIDO
			MUESTRA 1	MUESTRA 2
GRAVEDAD ESPECÍFICA 15.6 /15.6	ASTM D-1298	0.86-0.90	0,8854	0,9871
DENSIDAD API A 15.6			28,3	28,0
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	INEN 1493	51 Min.	101	103
AGUA Y SEDIMENTO (%V)	INEN 1494	Max. 0,05%	0,00	0,00
VISCOSIDAD CIN. A 40°C (cSt)	INEN 810	2,5-6,0	7,00	7,02
INDICE DE CETANO CALCULADO	INEN 1495	Min 49	45,50	44,90
<b>CONTENIDO DE AZUFRE (%p/p)</b>	INEN 929	Máx. 0,05	<b>0,01126</b>	<b>0,01025</b>
CORROSIÓN A LA LÁMINA DE COBRE	INEN 927	Máx. 1	1a	1a
DESTILACIÓN:	INEN 926			
P.I.E. (°C)		Reporte	143	168
10% (°C)		Reporte	275	326
50% (°C)		Reporte	387	332
OBSERVACIONES: N/D: No determinado. Los análisis realizados se hicieron bajo normas INEN.	 <b>DRA. SILVIA JIMÉNEZ</b> <b>ANALISTA LABORATORIO SANTO DOMINGO</b>			

**Figura 3.15** Valor de azufre en el biodiesel

(Borja, 2011)

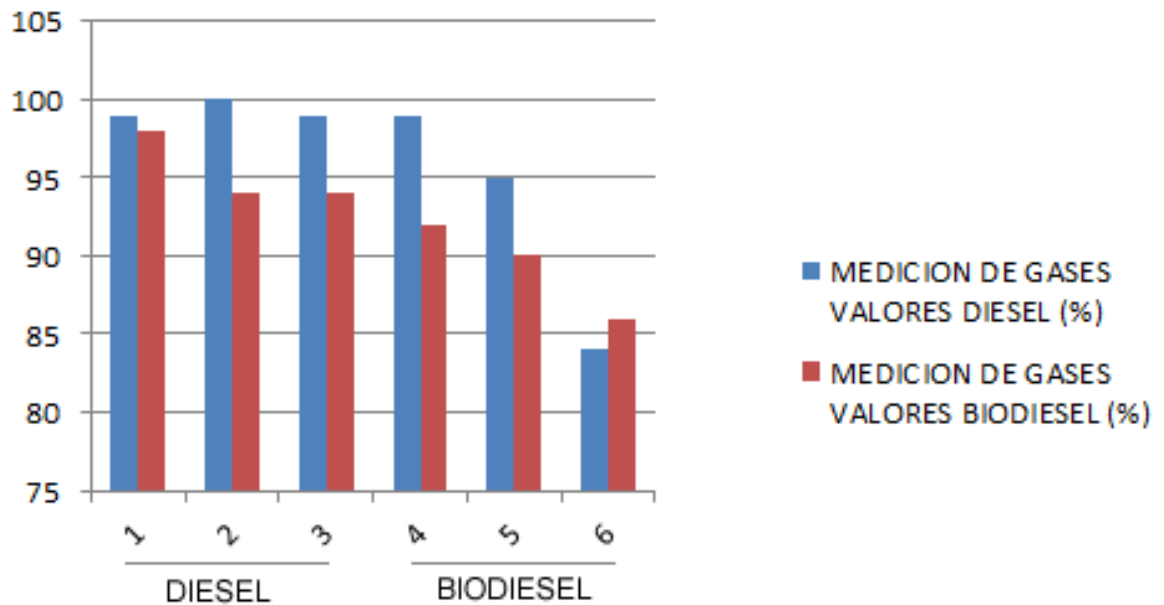
En la tabla 3.8 se muestra cada uno de los valores obtenidos en las seis pruebas que se realizaron con diesel al igual que con biodiesel, y se puede

apreciar que los valores disminuyen con biodiesel. Con los valores medios de todas las pruebas, y se puede apreciar una disminución del 4%

**Tabla 3.8.** Tabla de comparación de opacidades.

MEDICION DE GASES		
Nº DE PRUEBAS	VALORES DIESEL (%)	VALORES BIODIESEL (%)
1	99	98
2	100	94
3	99	94
4	99	92
5	95	90
6	84	86
VALOR MEDIO	93	89

En la figura 3.16 se muestra un gráfico en los que se puede apreciar con mayor facilidad que los valores de opacidad del biodiesel tienden siempre a disminuir en comparación con el del diesel



**Figura: 3.16** Comparación entre opacidades Diesel vs Biodiesel

En la tabla 3.8 podemos apreciar que los valores de opacidad han disminuido en un 4%, pero debemos tener en cuenta que este biocombustibles no emite gases tóxicos al medio ambiente, como se muestra en la figura 3.15.

### 3.8 DISEÑO DE ESTRUCTURA PARA SOPORTE DE MOTOR

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica; máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos. En su mayor parte el diseño mecánico hace uso de la ciencia de los materiales para poder alcanzar sus objetivos. (Mischke, 1992)



### **3.8.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

A veces la resistencia de un elemento en un sistema es un asunto muy importante para determinar la configuración geométrica y las dimensiones que tendrá dicho elemento. En tal caso se dice que la resistencia es un factor importante de diseño. Cuando se usa la expresión consideración de diseño se está refiriendo a una característica que influye en el diseño de un elemento, o quizá en todo el sistema. Generalmente se tiene que tomar en cuenta varios de estos factores en un caso de diseño determinado. Algunos de los más importantes son los siguientes: (Mischke, 1992)

Resistencia, Confiabilidad, Propiedades térmicas, Corrosión, Desgaste, Fricción o rozamiento, Procesamiento, Utilidad, Costo, Seguridad, Peso, Duración, Ruido, Estilización, Forma, Tamaño, Flexibilidad, Control, Rigidez, Acabado de superficies, Lubricidad, Mantenimiento, Volumen, Responsabilidad legal

De las cuales se ha tomado las que son necesarias para la construcción de este trabajo, Resistencia, costo, Peso, seguridad, estilización, forma y tamaño..

Algunos de estos factores se refieren directamente a las dimensiones y propiedades del material para lo que la selección del material fue de gran importancia.

Para diseñar la estructura de la base del motor se lo hizo con un programa de diseño, en este caso el más apropiado es SOLID WORKS.

Saber que material es el adecuado y cual conviene utilizar para la construcción de la estructura, ya que por el mismo hecho de la masa del motor es de gran importancia saber que material va a ser utilizado.

### **3.8.2 MATERIAL PARA LA CONSTRUCCION**

Para construir la estructura fue indispensable adquirir un perfil estructural de acero que cumpla con las características necesarias para sostener el peso del motor, por lo que se escogió el perfil tipo G con las siguientes medidas:

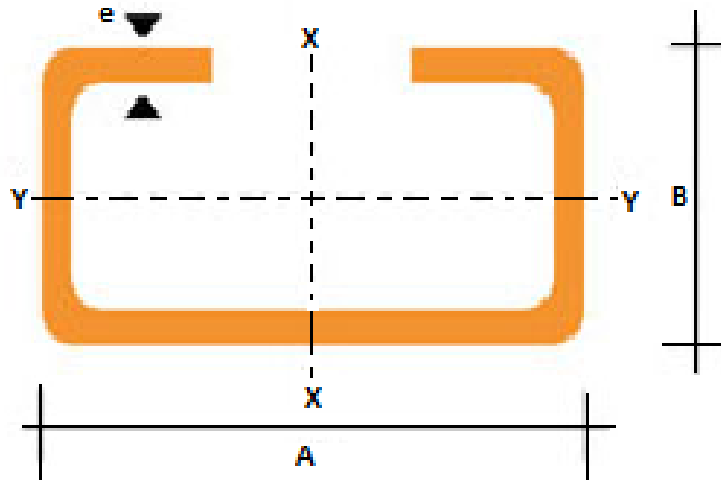
200mm para la medida A,

50mm para la medida B,

15 para la medida C

3.0 para la medida e,

Este material se utilizó para toda la estructura, ver figura 3.17 y figura 3.18.



**Figura: 3.17 Perfil G**

(Manta, 2012)

En la figura 3.18 se muestra una tabla donde se puede apreciar cada una de las medidas y especificaciones del material, mismo que se va a utilizar durante la construcción del soporte, banco sostén del motor.

Este material (perfil estructural G) se lo adquirió en Dipac Manta, que es una empresa dedicada a la construcción de materiales de acero para diferentes aplicaciones.

En la figura 3.18 se muestra una tabla con los valores de cada uno de los perfiles y sus características, de igual manera se puede apreciar resaltado en color rojo en que lugar se encuentra el perfil que fue utilizado para el desarrollo de este proyecto, con las medidas que se encuentra especificado en la figura 3.17.

DIMENSIONES				PESOS			SECCION	EJE X-X			PROPIEDADES		
A	B	C	e	6metros	1metro	I		W	I	I	W	I	
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm <sup>2</sup>		cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
60	30	10	1.5	9.19	1.53	1.95	11.02	3.67	2.38	2.43	1.25	1.12	
60	30	10	2.0	11.94	1.99	2.54	13.98	4.66	2.35	3.01	2.85	1.09	
60	30	10	3.0	16.98	2.83	3.61	18.90	6.30	2.29	3.87	3.69	1.04	
80	40	15	1.5	13.18	2.20	2.80	27.43	6.86	3.13	6.39	2.53	1.51	
80	40	15	2.0	16.68	2.78	3.54	35.30	8.81	3.16	8.07	3.18	1.51	
80	40	15	3.0	24.06	4.01	5.11	49.00	12.30	3.10	10.80	4.27	1.46	
100	50	15	2.0	20.40	3.40	4.34	69.20	13.80	4.00	15.00	4.57	1.86	
100	50	15	3.0	29.70	4.95	6.31	97.80	19.60	3.94	20.50	6.25	1.80	
100	50	20	4.0	40.26	6.71	8.55	126.70	25.34	3.85	28.50	9.05	1.83	
100	50	25	5.0	51.12	8.52	10.86	152.51	30.50	3.75	36.52	12.09	1.83	
125	50	15	2.0	22.80	3.80	4.84	116.00	18.60	4.91	16.20	4.69	1.83	
125	50	15	3.0	33.24	5.54	7.06	165.00	26.50	4.84	22.20	6.43	1.77	
125	50	20	4.0	44.99	7.49	9.55	217.00	34.70	4.77	30.90	9.32	1.80	
125	50	25	5.0	57.00	9.50	12.11	264.32	42.29	4.67	39.88	12.46	1.82	
125	50	30	6.0	70.78	11.78	14.73	307.13	49.14	4.56	48.69	15.81	1.81	
150	50	15	2.0	25.14	4.14	5.34	179.00	23.80	5.79	17.10	4.78	1.79	
150	50	15	3.0	36.78	6.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.56	1.73	
150	50	20	4.0	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.65	32.90	9.52	1.77	
150	75	25	5.0	74.70	12.45	15.86	545.36	72.71	5.86	117.22	24.17	2.72	
150	75	30	6.0	93.42	15.57	19.23	641.40	85.52	5.77	114.47	30.57	2.74	
175	50	15	2.0	27.48	4.58	5.84	258.00	29.40	6.64	17.90	4.85	1.75	
175	50	15	3.0	40.32	6.72	8.56	369.00	42.20	6.57	24.60	6.66	1.70	
175	75	25	4.0	65.40	10.9	13.90	653.00	74.60	6.84	105.00	20.90	2.75	
175	75	25	5.0	80.58	13.43	17.11	785.95	89.82	6.78	123.88	24.63	2.69	
175	75	30	6.0	100.74	16.79	20.73	929.39	106.22	6.70	152.84	31.19	2.72	
200	50	15	2.0	29.94	4.99	6.36	356.00	35.60	7.56	18.60	4.85	1.72	
200	50	15	3.0	43.86	7.31	9.31	507.00	50.70	7.45	25.10	6.57	1.65	
200	75	25	4.0	70.20	11.70	14.90	895.00	89.50	7.64	110.00	21.30	2.71	
200	75	25	5.0	86.52	14.42	18.37	1080.00	108.00	7.67	129.62	25.02	2.66	
200	75	30	6.0	108.00	18.00	22.23	1282.17	128.21	7.59	160.15	31.73	2.68	
250	75	25	4.0	79.80	13.30	16.90	1520.00	122.00	9.48	118.00	21.70	2.64	
250	100	25	5.0	109.98	18.33	23.36	2219.24	177.54	9.75	285.26	39.24	3.49	
250	100	30	6.0	135.48	22.58	28.23	2647.38	219.79	9.68	383.54	55.58	3.69	
300	100	30	4.0	100.80	16.80	21.30	2860.00	191.00	11.60	274.00	38.30	3.58	
300	100	35	5.0	126.60	21.10	26.90	3560.00	237.00	11.50	351.00	49.90	3.62	
300	100	35	6.0	154.74	25.79	31.80	4170.00	278.00	11.40	404.00	57.40	3.56	

Figura: 3.18 Tabla de medidas de perfil G

(Manta, 2012)

### 3.8.3 SOLIDWORKS:

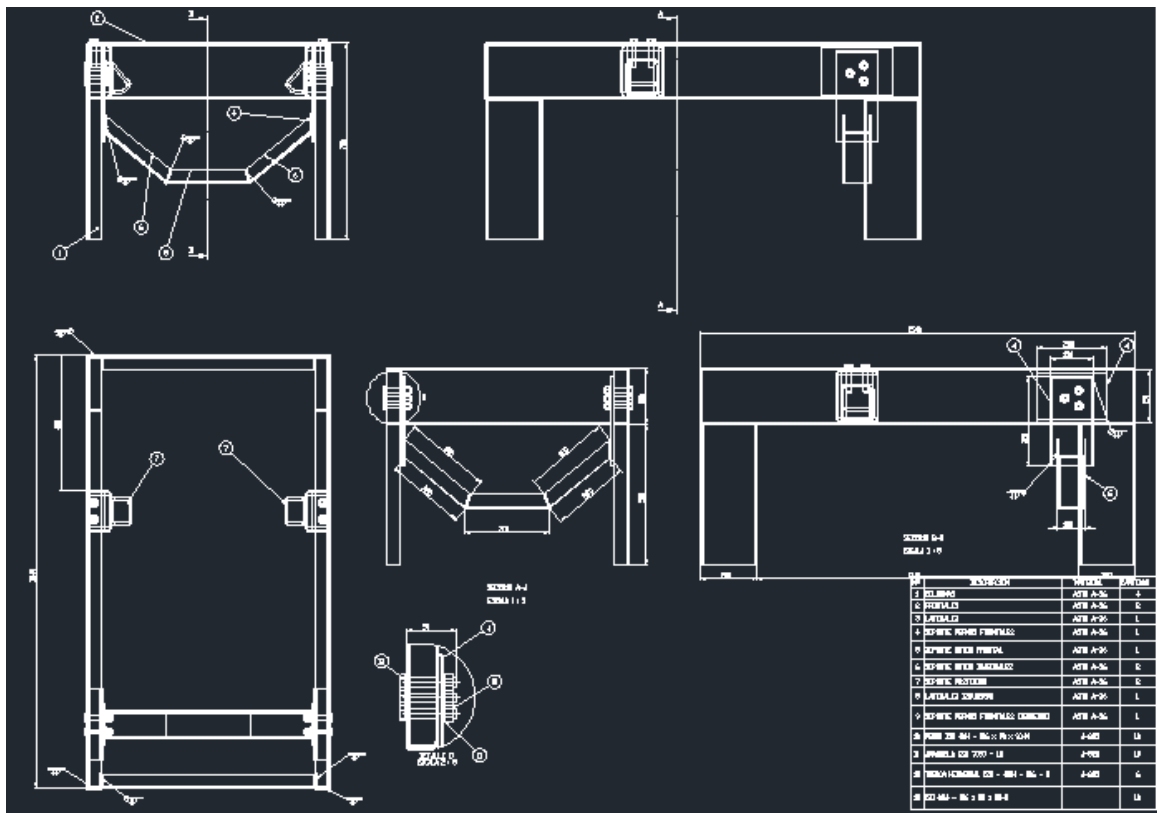
Es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada

### **3.8.3.1 Proceso:**

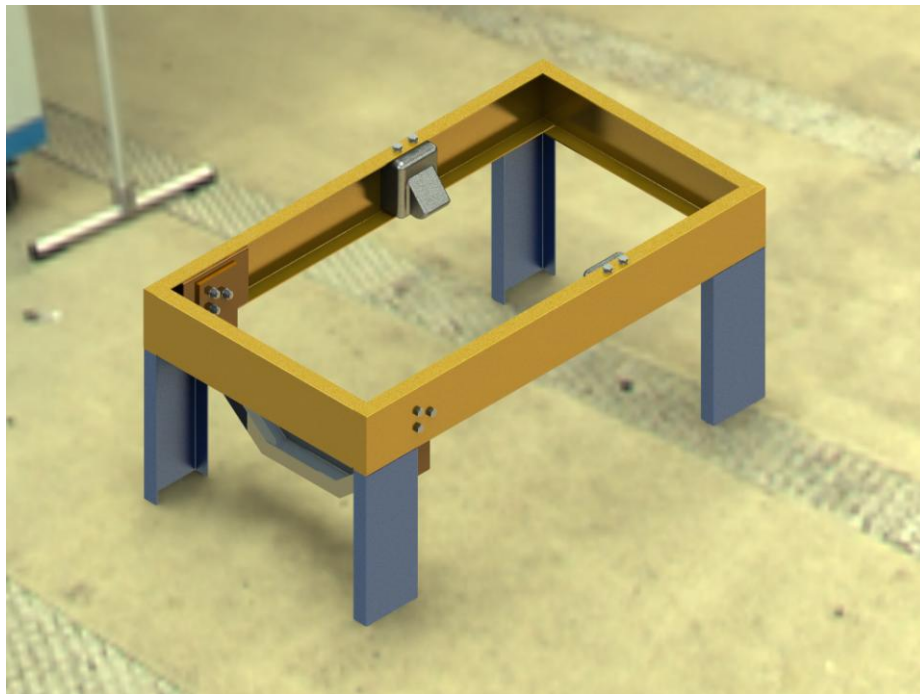
Una vez determinado el tipo de material que iba a ser usado para la construcción de la estructura, se tomó las medidas de las bases del motor, tanto delanteras como posteriores para realizar la estructura con las mismas medidas, de tal manera que estas nos sean útiles para asentar el motor y poder utilizar las bases del motor originales. Conocidos estos aspectos se comenzó la construcción en el Programa de diseño para estructuras en Solid Works,

Una vez que se instaló el software, se realizó un bosquejo de las aparentes medidas que debía tener el soporte, todo esto dependió de la altura a la que se quería tener el motor. En la figura 3.19 se muestra una figura donde se puede apreciar el diseño previo de la estructura, la cual luego se lo transfirió al programa en el que se lo iba a diseñar. Ver figura 3.19



**Figura: 3.19** Esquema de estructura

Como primer punto se debe crear un nuevo documento en el programa, luego de ello se debe elegir un plano, en el cual se deberá empezar a trazar los primeros rasgos de la estructura, para ello es aconsejable trabajar en plano alzado. Mientras se va dibujando cada una de las líneas de la pieza del ensamblaje, es necesario ir acotando cada una de las líneas dibujadas para de esta manera la pieza o parte del ensamble no presente problemas al momento de su ensamblaje, primero se dibujó las columnas, laterales, mismas que van a los lados y el trabajo realizado fue el siguiente: ver figura 3.20.



**Figura. 3.20** Estructura para motor (Diseño)

Adicional, cave recalcar que a la estructura se le dio movilidad con la ubicación de cuatro ruedas, con una capacidad de 250 Kg, una en cada pata de la estructura, ya que el peso de una tonelada.

### **3.8.4 PROCESO DE SOLDADURA**

La soldadura con metal y arco protegido (SMAW) se la utiliza mucho en la actualidad, ya que es un proceso de fusión porque se funden dos metales que se van a unir. (Pender, 1989)

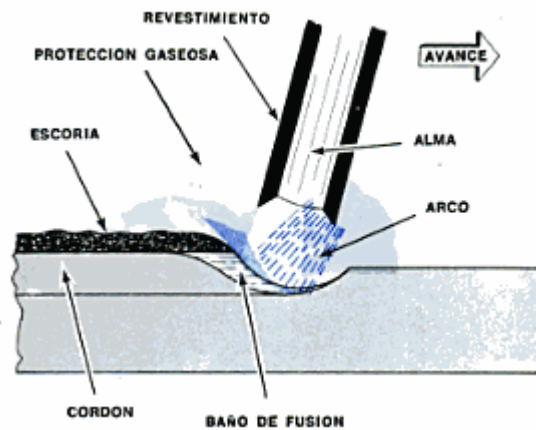
Una pieza soldada o un conjunto de piezas soldadas se fabrican mediante la unión por soldadura de un grupo de elementos de metal cortados según configuraciones particulares. Durante el soldamiento (o proceso de soldadura), las diversas partes se mantienen firmemente en contacto por medio de abrazaderas o montajes. (Mischke, 1992)

Para ello se diseño una estructura sencilla pero con las facultades necesarias para el trabajo que va a desempeñar, el cual es servir de sostén al motor y sus elementos.

#### **3.8.4.1 Electrodo**

Un electrodo es una varilla metálica, de composición aproximada a la del metal a soldar y recubierta con una sustancia que recibe el nombre de revestimiento. Cuando se establece una corriente a través del circuito de soldadura, salta un arco eléctrico entre el extremo del electrodo y la pieza, este arco provoca la fusión del electrodo y del metal base. Ver figura 3.21





**Figura: 3.21** Funcionamiento del electrodo

Fuente: (Weeks, 1981)

Para el proceso de soldadura se utilizó un electrodo que nos garantice seguridad, y facilidad de manejo para lo que se utilizó el electrodo E6011 en (AWS) que expresa la resistencia a la tracción en libras por pulgada cuadrada, o E41011 en (CSA) que utiliza kilopascales. (Pender, 1989)

En la tabla: 3.00 se puede ver un cuadro con las características del electrodo utilizado.

**Tabla: 3.9** especificación de electrodo E6011

CSA	AWS	CORRIENTE	TIPO DE RECUBRIMIENTO	CARACTERISTICAS DE PLICACION	POSICION PARA SOLDAR
E41011	E6011	CA o CC	CELULOSA	Soldadura con calidad, penetración profunda, escoria delgada	TODAS

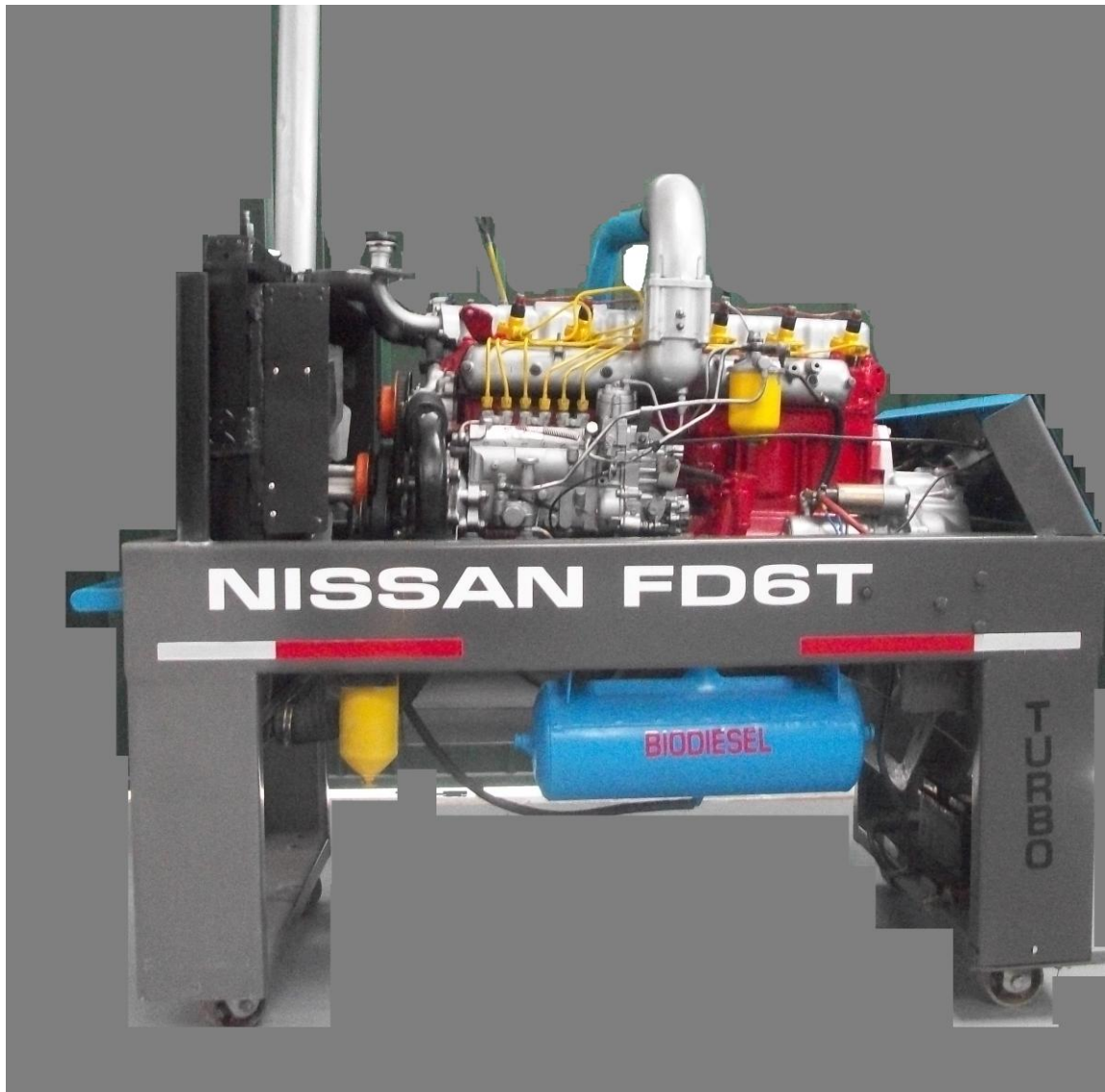
(Pender, 1989)

### **3.8.5 ESTRUCTURA Y MOTOR:**

En las figuras 3.22, 3.23, 3.24 y 3.25 se puede apreciar el trabajo ya terminado, y como fue mencionado anteriormente toda la estructura fue realizada con el mismo material ver figura 3.17 y 3.18, tanto el marco estructural, (cuadro superior), las patas y los soportes de sujeción tanto delanteros como posteriores.

A la estructura se le tubo que realizar adaptaciones para ubicar los distintos elementos, o sistemas para el funcionamiento del motor, como se puede apreciar en la figura 3.22 a l cuadro superior se le ubico el tanque para el biocombustible, al igual que la trampa de agua que se encuentra a continuación del tanque, también se le realizo la adaptación de los soportes para el radiador, y una barra para tirar de toda la estructura.

En la figura 3.22 se muestra los detalles de pintura realizados en todo el motor, a cada uno de los sistemas se lo pinto de colores diferentes para que de esta manera se tenga una mejor apreciación de cada uno de ellos



**Figura: 3.22** Maqueta Finalizada

En la figura 3.23 se muestra la adaptación del sistema de escape de escape, el cual consta de tubo flexible, el cual se lo toma desde la salida del múltiple de admisión, hasta el codo del silenciador, el silenciador que se encuentra sujetado con el cuadro superior de la estructura, un última sección de tubo flexible, para

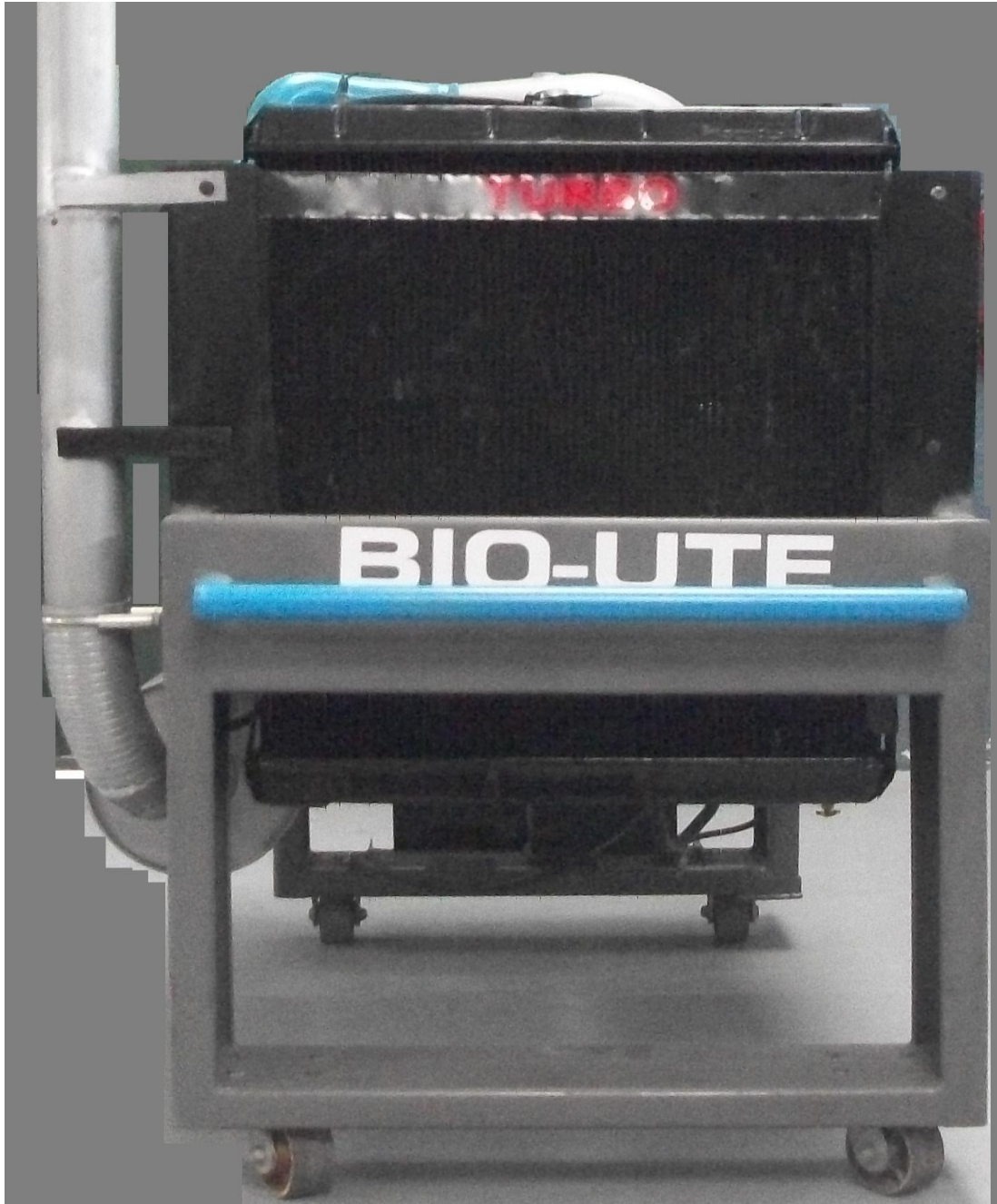
conectarse finalmente con el tubo de escape que se encuentra sujetado en los soportes del radiador.



**Figura: 3.23** Maqueta Finalizada

En la figura 3.24 se puede apreciar la maqueta desde una vista frontal donde se puede apreciar la disposición de las ruedas, ubicadas de tal manera que brinden el movimiento en cualquier dirección. por otra parte se puede apreciar

las bases utilizadas para la sujeción del radiador, en donde también se toma como soporte para la sujeción del tubo de escape.



**Figura: 3.24** Maqueta Finalizada

En la figura 3.25 se puede apreciar la parte posterior de la maqueta, en donde se ha ubicado el tablero de control de funcionamiento del motor, ya que es en donde se alojan los diferentes manómetros, y otros elementos para que este pueda funcionar correctamente. Entre las partes, y piezas que se han adaptado tenemos:

Tacómetro de revoluciones

Manómetro de presión de aceite

Manómetro de carga

Manómetro de temperatura

Switch de encendido

Foco piloto (para el encendido)

Ahogador o sobre cargador de combustible (controla el apagado del motor)

Adicional a ello, en la parte posterior es en donde se ubicó las baterías, ya que este lugar se encuentra cerca del motor de arranque.



**Figura: 3.26** Maqueta finalizada

## 4. CONCLUSIONES

### 4.1 CONCLUSIONES.

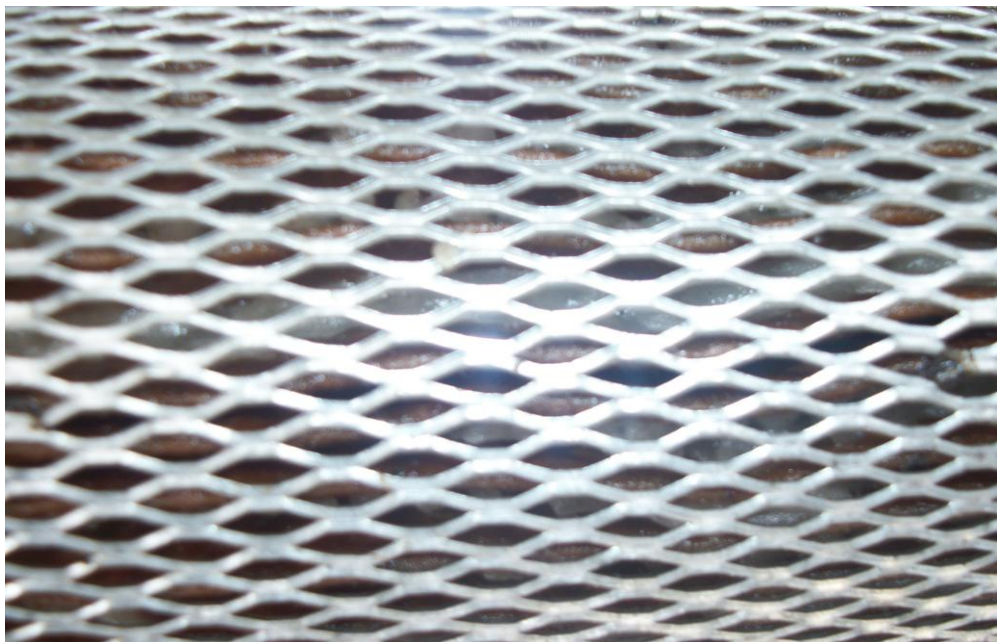
Durante la realización de este trabajo, se determinó una serie de conclusiones, entre las más importantes:

- Por ser el Ecuador un país petrolero, no se ha visto en la necesidad de invertir en nuevos proyectos, como son las energías renovables, en este caso los biocombustibles, con lo cual no solo se generarían, mayores fuentes de empleo, sino que también se contribuiría a la independencia hidrocarburíferas en el país.
- La gran aportación que ofrecen las nuevas energías con respecto a la reducción del calentamiento global, e impacto ambiental, ya que los biocombustibles no solo no emiten gases tóxicos sino que también aportan con nuevas ideas para la generación de nuevos biocombustibles.
- Al ser un biocombustibles fabricado en su totalidad de los desechos de aceites usados, no solo estamos ayudando al planeta con la reducción de las emisiones de los combustibles fósiles, sino que también estamos reutilizando como combustible los desechos que emiten ciertas empresas, y microempresas que utilizan los aceites para el desempeño de sus funciones.
- Los biocombustibles día a día van acaparando más frentes de trabajo, en especial en las industrias, generando electricidad para grandes empresas, moviendo maquinaria, y ofreciendo soluciones oportunas al movimiento de las industrias, satisfaciendo cada una de las necesidades que tienen estas, ya que también se lo puede usar como combustible



para calderos, reduciendo casi el 100 por ciento de las emisiones toxicas que presentan los combustibles fósiles.

- Un biocombustibles es mejor a medida que su grado de acidez sea mayor.
- Hoy en día los biocombustibles pueden suplir en su totalidad a los combustibles fósiles, ya que en el pasado se mezclaba al biocombustibles con combustible ordinario para que pueda funcionar, y de esta manera tratar de reducir el impacto ambiental, pero hoy en día el biocombustibles ya se lo puede sustituir en su totalidad, ofreciendo las mismas prestaciones que el combustible ordinario.
- El biocombustible utilizado en este proyecto no es recomendable, ya que reduce la vida útil de los filtros de combustible en un 50% ya por poseer una gran cantidad de almidones estos taponan mucho más rápido a los filtros, ver figura: 3.27 y 3.28



**Figura: 3.27** Depósitos de almidón dentro del filtro de combustible.



**Figura: 3.28:** Depósitos de almidón dentro del filtro de combustible.

## **4.2. Resultados**

Calculo de Consumo de Combustible y Consumo Específico de Combustible Biodiesel

### **Consumo de Combustible Biodiesel**

Uno de los principales objetivos expuestos para el desarrollo de este trabajo fue realizar el análisis de consumo de combustible, y consiguiente a este el cálculo de consumo específico de combustible.

Para poder realizar estos cálculos es importante tener en cuenta el principio teórico que menciona que se puede calcular una cierta cantidad de un fluido (combustible) que se consume en determinado tiempo, para ello es necesario tener en cuenta la siguiente fórmula:

$$CC = P_{\text{Biodiesel}} \cdot V/t$$

DONDE:

CC<sub>Biodiesel</sub>: consumo de combustible (Biodiesel)

P<sub>Biodiesel</sub>: densidad Biodiesel

V: volumen

t: tiempo

$$CC_{\text{Biodiesel}} = 0.887 \text{ g/cm} \cdot 9463.5 \text{ cm} / 600\text{s}$$

$$CC = 0.887\text{g} \cdot 15.77\text{s}$$

$$CC_{\text{Biodiesel}} = 13.987\text{g/s}$$

## 5.2 Consumo Específico de Combustible Biodiesel.

El consumo específico de combustible solo se lo puede calcular una vez que se ha calculado el consumo de combustible, basándonos para ello en la potencia generada dividida para el consumo anteriormente calculado

$$CeC_{\text{Biodiesel}} = CC_{\text{Biodiesel}}/P$$

$$CeC = 13.987\text{g/s} / 48.64 \text{ KW}$$

$$C_{eC} = 0.2875 \text{ g/s / KW}$$

### 5.3 Calculo de Consumo de Combustible y Consumo Específico de Combustible Diesel

$$CC_{\text{Diesel}} = P_{\text{Diesel}} * V/t$$

DONDE:

$CC_{\text{Diesel}}$ : consumo de combustible

$P_{\text{Diesel}}$ : densidad del Diesel

V: volumen

t: tiempo

$$CC = 0.832 \text{ g/cm} \cdot 3785.4 \text{ cm} / 600\text{s}$$

$$CC = 0.832\text{g} \cdot 6.30\text{s}$$

$$CC_{\text{Diesel}} = 5.24\text{g/s}$$

### 5.4 Consumo Específico de Combustible Diesel.

El consumo específico de combustible solo se lo puede calcular una vez que se ha calculado el consumo de combustible, basándonos para ello en la potencia generada dividida para el consumo anteriormente calculado

$$C_{eCD_{\text{Diesel}}} = CC/P$$

$$C_{eCD_{\text{Diesel}}} = 5.24\text{g/s} / 44.8 \text{ KW}$$

$$C_{eCD_{\text{Diesel}}} = 0.1169 \text{ g/s / KW}$$

### 5.5 ¿A qué se debe el mayor consumo de Biodiesel en relación al Diesel?

A continuación se realizara una demostración teórico grafica de por qué se produjo un mayor consumo de Biodiesel.

**Esto se origina debido a que la viscosidad del biodiesel ver tabla: 3.4 y literal 3.5.2.3 que nos habla de la viscosidad d este Biodiesel**

**“La viscosidad cinemática a 40°C dio como resultado 7cSt para el método alcalino y 7.02cSt en el método acido-base, resultados similares que presentan valores altos que exceden los límites permisibles por las Normas Europeas que establecen un rango de 3.5 – 5.0cSt en cambio las misma INEN tiene un rango de 1.9 – 6.5cSt por lo tanto la viscosidad no está dentro de los parámetros permisibles. Ver tablas 3.3 y 3.4.”**

Valor demasiado alto que se debe al exceso de glicerina en el biodiesel.

Haciendo un análisis de retorno de biodiesel en comparación con el diesel es mucho menor, ya que al ser el biodiesel más viscoso, por ende sella de mejor manera las paredes de la bomba de inyección y el inyector donde es empujado el combustible, por tal motivo este sello ayuda a mejorar la presión de combustible, enviando más combustible para ser inyectado. De esta manera se está cumpliendo el principio de utilizar un aceite más pesado cuando el vehículo empieza a perder compresión.

#### 5.6 Costos del biodiesel obtenido por el método alcalino de una etapa

El costo de producción de biodiesel se realizó a escala de laboratorio tomando en cuenta que los reactivos utilizados fueron de grado analítico, se comparó los costos de los catalizadores para el proceso de transesterificación, para el cálculo se tomaron en cuenta los costos de los reactivos como también de su materia prima para cada metodología.

Tabla 3.10 Costos de Producción del Biodiesel

Producto	Cantidad	Unidad	Valor Unitario	Valor Total
Aceite vegetal	909 g	1	0.1	0.1
Hidróxido de sodio	5 g	1	0.0	0.0
Metanol	200 ml	1	0.08	0.085
			COSTO A	\$ 0.35
Detalle		Cantidad	Total	
Mano de obra		10% Costo A	0.035	
Energía		5% Costo A	0.018	
Utilidad		20% Costo A	0.07	
Producción de maquinaria		5% Costo A	0.018	
			COSTO B	\$ 0.14
COSTO TOTAL = COSTO A + COSTO B				
COSTO TOTAL = \$ 0.49				

**(Borja, 2011)**

Se determinó el rendimiento de obtención de biodiesel

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{\text{Biodiesel obtenido}}{\text{Aceite vegetal usado}} \times 100$$

Aceite vegetal usado

$$\% \text{Rendimiento} = \frac{795.92}{909} \times 100$$

909

% Rendimiento = 87.56 %

Los 795.92g de biodiesel cuesta \$ 0.49 dólares por lo tanto un galón de biodiesel costará \$2.00 dólares. Fuente: Urbano, Miryan/2012

## 5.7 TABLA DE COMPARACION

A continuación se presenta una tabla de comparación con los resultados obtenidos a lo largo de las pruebas realizadas en el CCICEV tanto en el Dinamómetro como en el analizador de gases.

**Tabla 3.11** Tabla de comparación de valores

TABLA DE COMPARACION DE VALORES				
	DIESEL (1)	DIESEL (2)	BIODIESEL (1)	BIODIESEL (2)
POTENCIA NORMAL	45,2 KW	49,3 KW	62,7 KW	52,0 KW
POTENCIA MOTOR	42,9KW	46,7 KW	59,1 KW	49,0 KW
POTENCIA RUEDAS	27,8 KW	32,2 KW	31,5 KW	29,6 KW
POTENCIA ARRASTRE	15,1 KW	14,6 KW	27,6 KW	19,4 KW
POTENCIA MAX	3375 RPM	3395 RPM	3385 RPM	3480 RPM
PAR	99,9 lbf.ft	112,9 lbf.ft	177,3 Nm	144,9 Nm
PAR MAX	3090 RPM	2625 RPM	3365 RPM	3385 RPM
RPM MAX	3640 RPM	3600 RPM	3495 RPM	3500 RPM

## 6. Recomendaciones.

- Para el uso de biocombustibles en un motor, es recomendable, pre filtrarlo, ya que este tiene una gran cantidad de almidones, impurezas, ver figura 3.23 las cuales pueden llegar a taponar los filtros, o en el peor

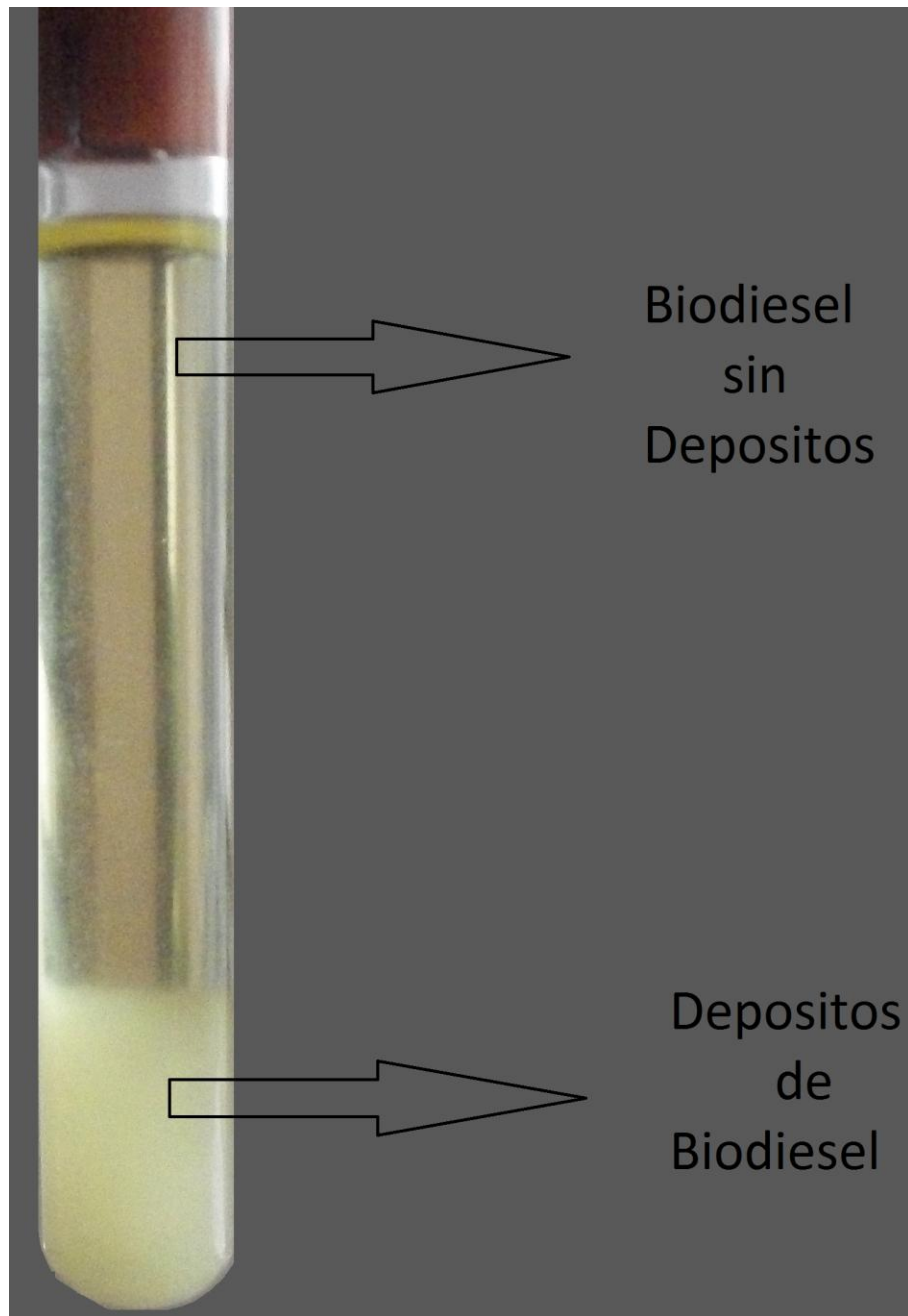
de los casos pueden llegar a taponar los conductos de la bomba de inyección.



**Figura: 3.25** Residuos de filtrado de Biodiesel

- Es recomendable reducir los intervalos de mantenimiento de cambio de filtros de combustible a un 10% menos, de esta manera nos aseguramos que la bomba de inyección no sufra obstrucciones o acumulación de impurezas.
- Para el uso de este tipo de biocombustibles en la región Sierra, es recomendable que tenga un dispositivo de precalentamiento ya que la viscosidad es más alta que el diesel.
- Previo a la utilización de este biocombustible es recomendable agitarlo, ya que al ser más viscoso tiende a generar depósitos de almidones en el fondo, como se puede ver en la figura.





**Figura: 3.26** depósitos de almidones y material pesado en Biodiesel

## BLIBLIOGRAFIA

A. Gurevich, E. S. (1987). *Tractores y Automoviles*. Moscu: MIR.

Alan Asmus, B., & Wellinton. (1991). *Motores Diesel y Sistemas de Inyeccion*. Madrid: Paraninfo.

Alonso, J. (2001). *Técnicas del Automovil. Sistemas de Inyeccion de Combustible en los Motores Diesel*. España: Paraninfo.

Atares, P. A. (1996). *Motores y Tractores Agrícolas*. España: Aedos.

Bello, M. Á. (2011). *Sistemas Auxiliares Del Motor*. Madrid: Paraninfo.

Borja, M. R. (2011). *Biodiesel a partir del Aceite Vegetal Usado Mediante Dos Metodos de Conversion (Alcalino de una Etapa y Acido Base de dos Etapas) en la Universidad Tecnologica Equinoccial Santo Domingo*. Santo Domingo: Miryan Urbano.

Byrnes, M. (2005). *Bumper to Bumper*. Corpus Chisti: Mike Byrnes and Associates.

Chavez, A. A. (2004). *Maquinaria y Mecanizacion Agricola*. Caosta Rica: EUNED.

Ciclopolis. (15 de 02 de 2012). [www.ciclopolis.com.ec](http://www.ciclopolis.com.ec). Recuperado el 8 de 10 de 2012, de [http://www.ciclopolis.ec/root/index.php?option=com\\_content&task=view&id=308&Itemid=115](http://www.ciclopolis.ec/root/index.php?option=com_content&task=view&id=308&Itemid=115)

Garcia, N. M. (1987). *Trctores y Maquinaria Agricola*. Costa Rica: San Jose.

Loopez, J. (1987). *Manual Practico del Automovil*. España: Edita Cultural.

Lopez, A. J. (2011). *Elaboracion de un Manual de Mantenimiento Para el Dinamometro de Chasis LPS 3000, Instalado en el Centro de Transferencia Tecnologica Para la Capacitacion e Investigacion en Control de Emisiones Vehiculares (CCICEV)*. Quito.

Lopez, J. (1987). *Manual Practico del Automovil*. España: Edita Cultural, SA.

Luck, E. J. (2003). *Motores Diesel y de Gas de Alta Compresion*. Barcelona: Reverté, S.A.

Manta, D. (09 de 06 de 2012). *www.dipacmanta.com*. Recuperado el 11 de 06 de 2013, de [http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca\\_codigo=1603](http://www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=1603)

Martínez, M. A. (06 de 05 de 2011). *www.pemex.com*. Recuperado el 05 de 11 de 2012, de <http://www.ref.pemex.com/octanaje/24DIESEL.htm>

Mischke, J. E. (1992). *Diseño en Ingenieria Mecanica*. Mexico: Mc Graw Hill.

Normalizacion, I. E. (02 de 02 de 2011). *www.inen.gob.ec*. Recuperado el 1 de 05 de 2013, de <http://www.aeade.net/web/images/stories/descargas/biblioteca/norma1.pdf>

PATRICIO, T. A. (12 de 07 de 2012). *www.campuscaroline.com*. Recuperado el 30 de 11 de 2012, de [http://campus.claroline.net/claroline/phpbb/viewtopic.php?topic=8&cidReset=true&cidReq=1971\\_003&start=5](http://campus.claroline.net/claroline/phpbb/viewtopic.php?topic=8&cidReset=true&cidReq=1971_003&start=5)

Pender, J. A. (1989). *Soldadura*. Mexico: Mc Graw Hill.

Torres, R. S. (21 de 01 de 2012). *www.energiadebate.com*. Recuperado el 11 de 06 de 2013, de <http://www.energiadebate.com/Articulos/Noviembre2008/SarmientoNov2008.htm>

Weeks, J. W. (1981). *Tecnica y Practica de la Soldadura*. España: Reverte, S.A.

WIKI. (6 de 02 de 2007). *www.wikispaces.com*. Recuperado el 21 de 11 de 2012, de <http://motorcombustioninterna.wikispaces.com/Diesel>

# ***ANEXOS***

## **ANEXO 1**

### **1.3.1 LEY NO. 2006-57**

#### **EL CONGRESO NACIONAL**

##### **CONSIDERANDO:**

Que constituye deber primordial y objetivo permanente del Estado ecuatoriano, de conformidad con lo prescrito en los artículos 243 y 244 de la Constitución Política de la República, el desarrollo socialmente equitativo, regionalmente equilibrado y ambientalmente sustentable que permita el crecimiento de la economía, en beneficio de las generaciones presentes y futuras; que para contribuir al desarrollo socio económico del país y al aumento de la productividad de la economía, es imperativo optimizar y racionalizar la utilización de los recursos provenientes de la explotación petrolera, orientándolos a proyectos de inversión que generen rentabilidad segura a la nación; y, al desarrollo y fortalecimiento de las actividades microempresariales en el país, como mecanismo sustantivo de generación de empleo que coadyuve a disminuir la migración de un amplio sector de la sociedad; que dentro del sistema de economía social de mercado, al Estado le corresponde crear infraestructura física y dotar de los servicios básicos para el desarrollo y explotar racionalmente los bienes de su dominio exclusivo de manera directa o con participación del sector privado; que es responsabilidad del Estado la provisión de servicios públicos, garantizando que éstos respondan a los principios de eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, continuidad y calidad, así como velar porque los precios y tarifas sean equitativos; que el petróleo es un recurso no renovable y tecnológicamente sustituible por lo que el país está obligado a invertir en la preservación de los recursos naturales renovables como un capital nacional permanente; Que de conformidad con los artículos 74, numeral 11; y, 79 de la Ley de Hidrocarburos,

el Ministro de Energía y Minas declaró la caducidad del Contrato Modificatorio de Prestación de Servicios a Contrato de Participación para Explotación de Hidrocarburos en el Bloque No. 15 de la Región Amazónica Ecuatoriana; el Convenio Operacional de Explotación Unificada de los Yacimientos Comunes M1, M2, U y T, en el Campo Unificado Edén-Yuturi; y, el Convenio Operacional de Explotación Unificada del Campo Unificado Limoncocha, suscritos el 21 de mayo de 1999 entre la República del Ecuador por intermedio de PETROECUADOR y Occidental Exploration and Production Company e inscritos en la Dirección Nacional de Hidrocarburos el 2 de junio de 1999; que conforme lo ordena el artículo 75 de la Ley de Hidrocarburos, la declaración de caducidad de los contratos implica la inmediata devolución al Estado de las áreas contratadas, así como la entrega de todos los equipos, maquinarias y otros elementos de producción, instalaciones industriales o de transporte, sin costo alguno para PETROECUADOR; que mediante Ley 2006-42 Reformatoria a la Ley de Hidrocarburos, publicada en el Suplemento del Registro Oficial N° 257 de 25 de abril de 2006, se dispuso que el Estado ecuatoriano reciba una participación de al menos el 50% de los ingresos extraordinarios que se generen por la diferencia de precios del petróleo; que es necesario optimizar y racionalizar la utilización de los recursos provenientes de la explotación petrolera, orientándola a proyectos de inversión estratégica; que es necesario que el Ecuador cuente con una política energética alternativa, para lo cual, en base a los elementos precursores naturales que posee, impulse la ejecución de proyectos de producción de biocombustibles; que el fideicomiso mercantil, previsto en los artículos 109 y siguientes de la Ley de Mercado de Valores, es una figura jurídica que permite administrar fondos, como un patrimonio autónomo, a través del cual es posible administrar los recursos provenientes de la explotación del Bloque 15 de la Región Amazónica Ecuatoriana y de los Yacimientos M1, M2, U y T, en el Campo Edén-Yuturi; y, del Campo Limoncocha; y, En ejercicio de sus facultades constitucionales y legales, expide la siguiente:

## **1.3.2 LEY ORGANICA DE CREACION DEL FONDO ECUATORIANO DE INVERSION EN LOS SECTORES ENERGETICO E HIDROCAR-BURIFERO –FEISEH**

### **1.3.2.1 Capítulo I**

#### **Creación del FEISEH, destino de sus recursos y fuentes que lo integran**

Art. 1.- Creación del Fondo.- Créase el Fondo Ecuatoriano de Inversión en los Sectores Energético e Hidrocarbúfero -FEISEH-, que se constituirá como un fideicomiso mercantil cuyo fiduciario será el Banco Central del Ecuador. El constituyente y beneficiario de dicho patrimonio autónomo será el Estado ecuatoriano que intervendrá representado por el Ministerio de Economía y Finanzas.

Art. 2.- Recursos que constituirán el patrimonio autónomo.- Los recursos que se transferirán al fideicomiso mercantil que se constituirá por disposición de esta Ley son:

a) Todos los provenientes de la explotación y comercialización estatal directa del denominado Bloque 15 de la Región Amazónica Ecuatoriana y de los Campos Unificados Edén-Yuturi y Limoncocha, que se generen desde la reversión al Estado del Bloque y campos unificados especificados. Toda la producción del Bloque 15, campos unificados y yacimientos señalados, será exportada.

La Dirección Nacional de Hidrocarburos señalará el monto de los ingresos que se obtendrán de la explotación del denominado Bloque 15 de la Región Amazónica Ecuatoriana y de los Campos unificados Edén-Yuturi y Limoncocha, por lo que deberá determinar las reservas y proyecciones de producción. En el evento de que la producción del Bloque 15 y de los campos unificados especificados no se destine a la exportación directa sino a otras modalidades

como trueque, canje o permuta, se reconocerá a favor del FEISEH, el mismo monto que le correspondería en el caso de exportación directa; para tal efecto, el Ministerio de Economía y Finanzas establecerá el mecanismo de liquidación equivalente de los ingresos generados por la respectiva modalidad y dispondrá al ente receptor el depósito en el FEISEH;

b) Los correspondientes a la participación del Estado en los nuevos contratos para la exploración y explotación del Bloque 15 y de los Campos unificados Edén- Yuturi y Limoncocha, o por cualquier otro tipo de contrato relacionado con la exploración y explotación de los mismos, que pudieren llegar a celebrarse; y,

c) La rentabilidad que genere la inversión de los recursos del FEISEH.

Los recursos del FEISEH no forman parte del Presupuesto del Gobierno Central.

Art. 3.- Finalidad del Fondo.- Los recursos del fideicomiso FEISEH, se destinarán, a los siguientes propósitos:

a) El 27% del total de los recursos previstos en el literal a) del artículo 2 de esta Ley, se destinará a compensar los valores que la Cuenta Especial de Reactivación Productiva y Social, del Desarrollo Científico - Tecnológico y de la Estabilización Fiscal CEREP's deja de percibir como consecuencia de la declaratoria de caducidad del Contrato Modificadorio de Prestación de Servicios a Contrato de Participación para la Explotación de Hidrocarburos en el Bloque 15 de la Región Amazónica Ecuatoriana; el Convenio Operacional de Explotación Unificada de los Yacimientos Comunes M1, M2, U y T, en el Campo Unificado Edén-Yuturi; y, el Convenio Operacional de Explotación Unificada del Campo Unificado Limoncocha;

b) Para cubrir los costos operativos incurridos por PETROECUADOR para operar el Bloque 15 y/o campos unificados y yacimientos señalados; y, para el



financiamiento del plan y programas de inversiones destinados a financiar las actividades necesarias en el Bloque 15 y los campos unificados y yacimientos mencionados en esta Ley, de acuerdo al presupuesto aprobado por el Directorio de PETROECUADOR;

c) Para impulsar en forma prioritaria proyectos de la más alta potencia en generación hidroeléctrica, sin excluir proyectos pequeños que técnica y económicamente se justifiquen, a excepción de la provincia de Galápagos, cuyo precio unitario total de potencia y energía en centavos de dólar por kilovatio hora para venta a largo plazo sea al menos en un 10% menor del Precio Referencial de Generación PRG, aprobado por el CONELEC para el año de expedición de la presente Ley, hasta cubrir el déficit actual de 500 MW y sucesivamente hasta totalizar una potencia incremental de 2.300 MW, incluyéndose proyectos de energía alternativa, exceptuándose proyectos de generación termoeléctrica;

d) Proyectos de inversión en el sector hidrocarburífero de propiedad del Estado, para financiar:

1. La construcción de nuevas refinerías con tecnología de alta conversión, para procesamiento de gas y crudo, como también para la repotenciación de las existentes, hasta que se tenga capacidad para procesar toda la producción de PETROECUADOR, excepto la correspondiente al Bloque 15 y campos unificados y yacimientos especificados en esta Ley;

2. La ampliación y construcción de sistemas de poliductos para la distribución interna de derivados;

3. La renovación de las tuberías del SOTE; y,

4. La construcción de infraestructura para el almacenamiento de GLP en tierra.

Cumplidos los propósitos a que se refieren los literales c) y d) de este artículo 3, los recursos del FEISEH se destinarán al Fondo de Ahorro y Contingencias-FAC, previsto en la Ley Orgánica de Responsabilidad, Estabilización y Transparencia Fiscal, sin afectación a los otros destinos que contempla esta Ley;

e) Para cubrir los costos que demande la constitución, registro y ejecución de las operaciones del fideicomiso; y,

f) Para cubrir los gastos de fiscalización de los proyectos de inversión y los de auditoría a los estados financieros y a la administración de los recursos del fideicomiso.

Art. 4.- Los recursos del FEISEH no se destinarán para cubrir gastos corrientes, salvo aquellos correspondientes a los costos operativos en los que incurra PETROECUADOR en la operación del Bloque 15 y/o campos unificados y yacimientos señalados en esta Ley, costos referidos en los literales b), e) y f) del artículo 3 de esta Ley.

Art. 5.- El Banco Central del Ecuador transferirá diariamente al fideicomiso los recursos que financian el FEISEH determinados en esta Ley. El fiduciario incorporará los recursos originados por los rendimientos financieros del FEISEH. Para administrar los recursos del FEISEH, el fiduciario los invertirá buscando optimizar un rendimiento consistente con una mínima volatilidad sobre esos recursos. En ningún caso se obtendrán beneficios inferiores a los que se generaren como consecuencia de la aplicación de los criterios con los cuales se invierte la Reserva Internacional de Libre Disponibilidad. Los recursos del FEISEH están sujetos a inmunidad y no podrán ser usados como garantías, fianzas, colaterales o similares para operaciones de crédito del Estado ecuatoriano, ni usados para propósitos o destinos diferentes a los señalados en esta Ley, excepto cuando se trate de garantías exclusivas para las operaciones de los proyectos beneficiarios de los recursos del FEISEH. Tales recursos, al

igual que los recursos del Presupuesto General del Estado, son inembargables y no pueden ser objeto de ningún tipo de apremio, medida preventiva o cautelar ni de ejecución.

### **1.3.2.2 Capítulo II**

#### **De los organismos directivo y técnico del fondo**

Art. 6.- Confórmese la Comisión del Fondo Ecuatoriano de Inversión en los Sectores Energético e Hidrocarburífero -COFEISEH-, la misma que estará integrada por el Presidente de la República o su delegado, quien la presidirá; el Ministro de Economía y Finanzas; y, el Ministro de Energía y Minas.

Todos los miembros de la Comisión tienen derecho a voz y voto. Las decisiones se tomarán con el voto favorable de al menos dos de sus miembros.

El Gerente General del Banco Central del Ecuador, en su calidad de representante legal del fiduciario, asistirá a las sesiones de la COFEISEH sin derecho a voto, y actuará en calidad de Secretario de la misma.

Art. 7.- La COFEISEH tendrá los siguientes deberes y atribuciones:

a) Calificar, en un plazo no mayor de treinta días, sobre la base de informes de factibilidad técnica, económica, financiera, social y ambiental presentados por el Comité Técnico, los proyectos de inversión a financiarse con recursos del FEISEH y determinar el orden de prioridad de los mismos, cuya ejecución dispondrá según la disponibilidad efectiva de recursos del FEISEH y sin alteración del orden de prioridad establecido, para lo cual no se requerirá de ningún otro informe de entidad pública alguna.

La información al respecto será difundida de inmediato a través de las páginas web de los Ministerios de Economía y Finanzas; de Energía y Minas; y, del Ambiente;

- b) Asignar los recursos necesarios para la completa ejecución del proyecto al organismo o entidad del Estado, o empresa generadora a la que se hubiere otorgado la respectiva concesión, en tanto el 51%, cuando menos, de sus acciones pertenezcan al sector público ecuatoriano;
- c) Autorizar al fiduciario el desembolso de los recursos para la iniciación o continuación de los proyectos, en base a los informes que presente el Comité Técnico;
- d) Actuar como Junta del Fideicomiso Mercantil del FEISEH, que constituirá el órgano máximo que impartirá instrucciones al fiduciario para la idónea administración e inversión de los recursos del fideicomiso, debiendo instruir al fiduciario, sobre el monto total que autoriza utilizar del fideicomiso para el financiamiento de cada proyecto;
- e) Vigilar la administración del fideicomiso por parte del fiduciario y el cabal cumplimiento de sus obligaciones;
- f) Informar trimestralmente al Congreso Nacional, sobre los movimientos y el estado financiero del fideicomiso, sobre la base del informe que presente el fiduciario. Tal informe trimestral deberá difundirse a través de las páginas web de los Ministerios de Economía y Finanzas; de Energía y Minas; y, del Ambiente;
- g) Autorizar al fiduciario la contratación de firmas auditoras y fiscalizadoras externas privadas para que realicen las auditorías y fiscalizaciones de los estados financieros del fideicomiso, del examen anual del manejo de los recursos de los proyectos de inversión, sin perjuicio del control que corresponde efectuar a la Contraloría General del Estado; y,

h) Adoptar las medidas necesarias, en base a los informes y recomendaciones que realicen los fiscalizadores de los proyectos de inversión, para evitar el retardo, suspensión, paralización o inadecuada ejecución de los mismos.

Todos los informes y demás documentos que se conozcan en el seno de la Comisión reposarán en poder del fiduciario, bajo su responsabilidad.

Art. 8.- El Comité Técnico del FEISEH estará conformado por siete miembros: el Subsecretario General de Economía, quien lo presidirá, y seis (6) funcionarios técnicos con experiencia y conocimiento en el manejo de los proyectos de inversión a financiarse con los recursos del fideicomiso, delegados por los miembros de la COFEISEH pertenecientes a las entidades que representan.

El Comité Técnico estará integrado además, por un representante del proyecto de inversión que se encuentre en proceso de calificación, quien participará con voz pero sin voto.

Art. 9.- Son deberes y atribuciones del Comité Técnico:

a) Elaborar un banco de proyectos de inversión que podrían financiarse con los recursos del FEISEH, sugiriendo el orden de prioridad para su ejecución;

b) Emitir el informe de factibilidad técnica, económica, financiera, social y ambiental de los proyectos de inversión cuya selección se recomendaría a la COFEISEH, en base a los requerimientos técnicos establecidos por el Ministerio de Economía y Finanzas a través de la Subsecretaría de Programación de la Inversión Pública;

c) Presentar a la COFEISEH los informes técnicos pertinentes sobre cuya base, dicha Comisión seleccionará los proyectos de inversión a financiarse con los recursos del FEISEH. Tales informes técnicos, sin perjuicio de los que determine la COFEISEH, deberán contener los siguientes elementos, que podrán variar en función de la naturaleza del proyecto: (i) monto del proyecto;

(ii) justificación; (iii) Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Actual Neto (VAN) financieros y económicos; (iv) impacto ambiental; (v) reducción de costos; y, (vi) tecnología y cobertura geográfica;

d) Presentar un informe sobre el avance de la ejecución de los proyectos de inversión financiados con los recursos del FEISEH, a través de los medios o mecanismos que considere necesarios para el cabal cumplimiento de esta responsabilidad; y, en coordinación con el fiduciario, presentar a la COFEISEH un informe de evaluación del avance del proyecto, con las recomendaciones respectivas tendientes a evitar el retardo, la suspensión, paralización o inadecuada ejecución del proyecto; y,

e) Analizar y evaluar los informes de avance de ejecución del proyecto de inversión presentado por la entidad, organismo o empresa ejecutora del proyecto, en coordinación con el fiduciario.

### **1.3.2.3 Capítulo III**

#### **Del fiduciario del fondo ecuatoriano de inversión en los sectores energético e hidrocarburífero y de los ejecutores de los proyectos**

Art. 10.- El fiduciario tendrá la responsabilidad de administrar con honestidad, prudencia y diligencia el patrimonio autónomo, en cumplimiento de las respectivas estipulaciones contractuales y las instrucciones de la Junta de Fideicomiso. Fundamentalmente, velará por la entrega oportuna y eficiente de los recursos destinados al financiamiento de cada proyecto de inversión financiado con recursos del FEISEH, de acuerdo a las instrucciones que imparta la COFEISEH, para lo cual coordinará con el ejecutor de cada proyecto y con el Comité Técnico respectivo, de tal manera que se garantice la continuidad en la ejecución del proyecto.

Art. 11.- Los recursos del fideicomiso, que no tengan aplicación inmediata en los fines previstos por esta Ley, serán invertidos por el fiduciario, transitoriamente, en documentos con vencimiento de hasta ciento ochenta (180)

días, que garanticen, en su orden, la seguridad, liquidez y rentabilidad de tales inversiones, observando los mismos criterios que utiliza el Banco Central del Ecuador, en la inversión de la Reserva Internacional de Libre Disponibilidad, de la cual no forman parte los recursos del FEISEH. El rendimiento de la inversión constituirá un ingreso del FEISEH.

Art. 12.- Cualquier información y/o documentación atinentes al manejo de los recursos del FEISEH que se requieran de conformidad con la Ley, o por disposición judicial, será proporcionada exclusivamente por el fiduciario.

Art. 13.- El fiduciario coordinará con el Comité Técnico, el informe de evaluación sobre el avance del proyecto de inversión correspondiente.

Art. 14.- Las contrataciones que deba efectuar el fiduciario, de conformidad con esta Ley, se realizarán bajo el procedimiento de selección que determine la COFEISEH, sobre la base de las recomendaciones del fiduciario.

Art. 15.- Los organismos, entidades y empresas públicas, empresas de economía mixta y sociedades anónimas, cuyo capital accionario pertenezca mayoritariamente al Estado, podrán presentar a la COFEISEH, para su análisis y decisión, proyectos de inversión a financiarse con los recursos del FEISEH.

Art. 16.- En el evento de que los proyectos de inversión presentados por las instituciones indicadas en el artículo anterior hubieren sido seleccionados por la COFEISEH, observando el orden de prioridad y que se ajusten a los niveles técnicos y a la disponibilidad efectiva de recursos del FEISEH, serán las ejecutoras de los proyectos de inversión respectivos.

Art. 17.- El ejecutor del proyecto de inversión deberá presentar obligatoriamente y en forma trimestral al Comité Técnico y al fiduciario, los informes de avance de ejecución del proyecto y detalle de gastos efectuados en el mismo y la comparación con el presupuesto original y de ser el caso, determinar sus desviaciones.

El ejecutor del proyecto de inversión deberá acatar las observaciones y/o recomendaciones que formule la COFEISEH respecto a la ejecución y avance del proyecto.

#### **1.3.2.4 Disposiciones generales**

PRIMERA.- Se reconocerá a favor del Presupuesto del Gobierno Central el monto anual de ciento cuarenta y cinco millones de dólares de los Estados Unidos de América (USD \$ 145'000,000.00) que deja de ingresar por concepto de obligaciones tributarias, como consecuencia de la declaratoria de caducidad del Contrato Modificatorio de Prestación de Servicios del Contrato de Participación para la Explotación de Hidrocarburos en el Bloque 15 de la Región Amazónica Ecuatoriana; el Convenio Operacional de Explotación Unificada de los Yacimientos Comunes M1; M2; U; y, T, en el Campo Unificado Edén-Yuturi; y, el Convenio Operacional de Explotación Unificada del Campo Unificado Limoncocha.

De este monto, el 11% se continuará transfiriendo a las universidades y escuelas politécnicas, de conformidad con lo que dispone la ley que creó el Fondo Permanente de Desarrollo Universitario y Politécnico - FOPEDEUPO, valor que se distribuirá de conformidad con el artículo 75 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

De igual manera, el Ministerio de Economía y Finanzas, con los recursos señalados en el inciso primero de esta Disposición, compensará a los partícipes, que por la declaratoria de caducidad del Bloque 15 y campos unificados especificados, dejen de percibir los valores provenientes de la aplicación de la Ley que Otorga, a través de Donaciones Voluntarias, Participación en el Impuesto a la Renta a los Municipios y Consejos Provinciales del País.



SEGUNDA.- Por su naturaleza, los ingresos del FEISEH están exentos de todo tributo. No obstante lo anterior, el constituyente, el fiduciario y beneficiario del fideicomiso deberán efectuar las declaraciones tributarias pertinentes.

TERCERA.- El fiduciario o cualquier ciudadano, denunciará a la Contraloría General del Estado cualquier situación que implique la utilización indebida o perjudicial a los intereses del Estado, de los recursos transferidos por el fideicomiso para la ejecución del proyecto correspondiente.

CUARTA.- Como alternativa de la política energética, el Gobierno Nacional incentivará y estimulará la ejecución de proyectos bioenergéticos, para que a través de éstos se apoye la agroindustria y la producción de etanol y otros biocombustibles, como elementos claves que contribuyan a la autosuficiencia energética del país. El Estado promoverá y viabilizará los proyectos en esta materia en base a los estudios de factibilidad ejecutables en cualquier parte del país.

QUINTA.- Los recursos provenientes de la aplicación de la Ley 2006-42 Reformatoria a la Ley de Hidrocarburos, publicada en el Suplemento del Registro Oficial N° 257 de 25 de abril de 2006, una vez descontados la participación a la que tienen derecho los municipios y consejos provinciales en la Ley Especial de Distribución del 15% del Presupuesto del Gobierno Central para los Gobiernos Seccionales, se destinarán a financiar gastos de capital y proyectos de inversión productiva a través del Presupuesto del Gobierno Central, evitando la contratación de mayor deuda pública.

SEXTA.- La presente Ley no modifica la vigencia y aplicación del literal c) del artículo 58 A de la Ley para la Reforma de las Finanzas Públicas, ni de la Ley que lo interpreta, publicada en el Registro Oficial No. 217 de 24 de noviembre de 2003.

SEPTIMA.- Los procesos de selección en materia contractual, se someterán a las leyes de Contratación Pública; Consultoría; y, demás normas atinentes a la materia.

#### **1.3.2.5 Disposiciones transitorias**

PRIMERA.- Sin perjuicio de las asignaciones previstas en la Ley Orgánica Reformatoria a la Ley Orgánica de Responsabilidad, Estabilización y Transparencia Fiscal, publicada en el Registro Oficial N° 69 de 27 de julio de 2005, que creó la Cuenta Especial de Reactivación Productiva y Social, del Desarrollo Científico - Tecnológico y de la Estabilización Fiscal CEREP's, y otras leyes, se dispone que para el desarrollo del Programa Sistema Nacional de Microfinanzas, por una sola ocasión, del FEISEH se utilice la cantidad de setenta millones de dólares de los Estados Unidos de América (USD \$ 70'000,000.00) que se orientarán:

a) Treinta millones de dólares de los Estados Unidos de América (USD \$ 30'000,000.00) para que el fideicomiso FEISEH, a nombre del Estado, constituya un fideicomiso mercantil, cuyo fiduciario será la Corporación Financiera Nacional, que tendrá por finalidad la concesión de créditos destinados a microempresarios, artesanos y pescadores artesanales, sin perjuicio de las asignaciones presupuestarias que fueren necesarias establecer para tal propósito, de donaciones y recursos de financiamiento obtenidos en términos concesionales y ventajosos;

b) Treinta millones de dólares de los Estados Unidos de América (USD \$ 30'000,000.00) para que el fideicomiso FEISEH, a nombre del Estado, constituya un fideicomiso mercantil, cuyo fiduciario será el Banco Nacional de Fomento, para la concesión de créditos a tasas de interés preferenciales, destinado a los pequeños productores del sector agropecuario; y,

c) Diez millones de dólares de los Estados Unidos de América (USD \$ 10'000,000.00) para crear y capitalizar un fondo que garantice a las microem-

presas, pequeñas empresas y pequeños productores del sector agropecuario, hasta por un 50% de cada crédito otorgado a favor de éstas por la Corporación Financiera Nacional y por el Banco Nacional de Fomento. El fiduciario del FEISEH tendrá a su cargo y responsabilidad la creación, administración e instrumentación del fondo de garantía.

El 50% de los créditos a los que se refiere esta disposición, se otorgarán a los microempresarios perjudicados por la erupción del volcán Tungurahua.

El Comité del fideicomiso mercantil a que se refiere esta Disposición Transitoria, a través de los mecanismos pertinentes, precautelaré que el aporte transferido a dicho patrimonio autónomo se mantenga, al menos en su nivel inicial, una vez descontada la inflación promedio anual reportada oficialmente por el Banco Central del Ecuador para el ejercicio económico respectivo.

SEGUNDA.- Los representantes de las entidades públicas a cuyo cargo se encuentren los sectores energético e hidrocarburífero deberán presentar, al Comité Técnico del FEISEH en el plazo de 30 días a partir de la promulgación de esta Ley en el Registro Oficial, de manera obligatoria, los proyectos que en sus respectivas áreas se encuentran en proceso de ejecución y los demás proyectos de inversión estratégicos que puedan financiarse con recursos de este fideicomiso.

TERCERA.- Las compensaciones a las que se refiere la Primera Disposición General de esta Ley, se harán constar a partir del ejercicio financiero del año 2007.

CUARTA.- El Ministerio de Economía y Finanzas, en representación del Estado, y en calidad de constituyente, será el responsable de gestionar la legalización de la constitución del fideicomiso mercantil, de conformidad con las normas de la Ley de Mercado de Valores, a cuyo efecto coordinará con el fiduciario el texto pertinente de las estipulaciones contractuales.

QUINTA.- El fiduciario del FEISEH, transferirá al Ministerio de Economía y Finanzas los recursos necesarios para la creación de la partida presupuestaria, en el presente ejercicio financiero, que se destinarán para iniciar los procesos de licitación o el que correspondiere en función de la cuantía, para la readecuación de la refinería de Esmeraldas a cargo de PETROECUADOR.

SEXTA.- Durante el año 2006 los costos de operación y de las inversiones contempladas en el respectivo programa, serán aquellos que se determinen de conformidad con el Decreto Ejecutivo 1546, publicado en el Registro Oficial N° 300 de 27 junio de 2006.

Dada, en la ciudad de San Francisco de Quito, Distrito Metropolitano, en la Sala de Sesiones del Congreso Nacional, a los dieciocho días del mes de octubre del año dos mil seis.

f.) Dr. Wilfrido Lucero Bolaños, Presidente.

f.) Dr. Xavier Buitrón Carrera, Secretario General (E).

CONGRESO NACIONAL.- Certifico que la copia que antecede es igual a su original que reposa en los archivos de la Secretaría General.- Día: 19 de octubre del 2006.- Hora: 09h00.- f.) Ilegible, Secretaría General.

#### 1.4 JUSTIFICACION

Este proyecto de investigación es de gran ayuda, ya que no solamente se esta contribuyendo con material didáctico que es el trabajo investigativo, el cual constara como el primer trabajo realizado bajo el formato de biocombustibles, sino que también es uno de los principales objetivos generar el interés de las futuras generaciones para que no miren a los biocombustibles solo como un trabajo de investigación, sino que profundicen aún más os conocimientos acerca de ellos, generando una conciencia ambiental, como los veedores del área automotriz de hoy y mañana.

Una investigación mucho más profunda acerca del comportamiento de los biocombustibles una vez que estos se encuentran en proceso de combustión, y trabajo, verificando cada uno de los cambios mediante un dinamómetro.

Determinar cuáles son los principales cambios a los que se encuentra sometido el motor y la bomba de inyección, una vez que este se encuentra funcionando con biodiesel al 100%, por otra parte realizar pruebas de ruta a carga normal para verificar si es que el vehículo es capaz de circular por la ciudad de Quito y su geografía.

## **ANEXO 2**

### **NORMA ISO 1585 (RESUMEN)**

#### **INTRODUCCIÓN**

La disminución de la presión y la temperatura atmosférica afecta a la densidad del aire y su composición, y en consecuencia, a las prestaciones de toda máquina térmica. Este problema es más acentuado en máquinas térmicas de desplazamiento volumétrico como los motores de combustión interna alternativos, y dentro de ellos, aún más en los de aspiración natural.

El rendimiento indicado disminuye con la altitud debido principalmente a que la presión en el cilindro es menor a lo largo de todo el ciclo del motor, si bien otros efectos relacionados con la incorporación del combustible también influyen. Todo ello provoca una pérdida de potencia indicada. Aunque la potencia de pérdidas mecánicas se reduce ligeramente con la altitud debido a que la potencia de pérdidas de bombeo y la de rozamiento se reducen por la disminución de la contrapresión de escape y de presión en el cilindro respectivamente, esta disminución es mucho menos significativa que la de la potencia indicada. Por ello, algunos autores suponen el cambio en la potencia de pérdidas mecánicas como un porcentaje constante de la variación de la potencia indicada a medida que cambia la altitud (Xiaoping et al., 1996), mientras que otros directamente la desprecian (SAE J1349, 1995; Heywood, 1988), suponiendo idéntica disminución para la potencia indicada y para la efectiva. Esta última suposición implica que el peso de las pérdidas mecánicas crezca frente a una potencia indicada que disminuye y que por lo tanto la pérdida relativa de potencia efectiva sea incluso mayor que la indicada y creciente al disminuir el rendimiento mecánico del motor.

Lizhong et al. (1995) realizaron ensayos en un motor diesel de inyección directa, aspiración natural, de 3.3 litros de cilindrada total y cuatro cilindros. Dejando constante el dosado relativo, obtuvieron una disminución del 24% en la potencia efectiva y un incremento del consumo específico de combustible cercano al 4% al operar a 2000 msnm (metros sobre el nivel del mar). Adicionalmente estudiaron el efecto que tenía dejar constante el consumo de combustible de máxima economía (consumo específico de combustible mínimo), obteniendo con el mismo motor, una disminución en la potencia efectiva en torno al 16% y un incremento en el consumo específico de combustible mínimo en torno al 6% al operar a la misma altura (2000 msnm).

Xiaoping et al., (1996) desarrollaron un modelo para predecir el efecto de la presión y la temperatura ambiente sobre motores diesel turboalimentados (TC). Manteniendo constantes el régimen de giro del motor, la masa de combustible inyectado y la temperatura ambiente, obtuvieron una disminución en la potencia efectiva cercana al 4% al pasar de 0 a 3000 msnm. El efecto de la temperatura lo obtuvieron dejando constantes el régimen de giro, la masa de combustible inyectado y la altura sobre el nivel del mar. Al disminuir la temperatura ambiente de 20 a -15°C observaron un aumento de la potencia efectiva en torno al 7%. La compensación de potencia proporcionada por el turbogrupo se debió al incremento del dosado relativo y por tanto de la temperatura de escape, y a la disminución de la contrapresión de escape al aumentar la altitud.

En motores de encendido provocado con lazo de control cerrado, el requerimiento de dosado estequiométrico obliga a la unidad de control electrónico del motor a inyectar menos cantidad de combustible a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar (menor disponibilidad de aire atmosférico). La menor temperatura exterior obliga a avanzar el ángulo de encendido ya que disminuye la velocidad de combustión. Olin y Maloney (1999) desarrollaron un algoritmo de cálculo basado en las ecuaciones de flujo a través de válvulas, que permite corregir los parámetros de la unidad de control electrónico en función de la presión barométrica.

Con el fin de establecer una base de comparación común es necesario aplicar factores de corrección para convertir la potencia en el terreno a potencia en condiciones estándar y viceversa. Esta corrección suele ser del tipo:

$$\frac{N_i}{N_{i0}} = \left(\frac{p}{p_0}\right)^a \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^b \quad (1)$$

donde  $N_i$ ,  $p$  y  $T$  son la potencia indicada, presión y temperatura del lugar de operación respectivamente, el subíndice 0 indica condiciones de referencia (normalmente 0 msnm).

La corrección por humedad se suele incorporar en el término de presión, restando de ésta la presión del vapor de agua atmosférico. En este trabajo no se aborda dicho efecto, que con diferencia influye menos sobre las prestaciones del motor que la presión y temperatura (Soares y Sodré, 2002).

Los valores de los exponentes  $a$  y  $b$  varían según el tipo de motor y las condiciones de operación. Éstos no provienen de un análisis teórico de las ecuaciones, sino que obedecen a un ajuste experimental para correlacionar el tipo de motor y las condiciones atmosféricas. El exponente  $a$  suele tomar el valor de la unidad para motores diesel y de encendido provocado (MEP) de aspiración natural, tanto de aplicación estacionaria como de automoción. La norma ISO 1585 (1992) adoptada también por la sociedad de normas técnicas de Brasil (Sodré y Soares, 2003) recomienda para MEP de automoción un valor de  $a=1.2$  y resta de la presión atmosférica la del vapor de agua.

El exponente  $b$  suele variar entre  $-0.5$  y  $-1$  para motores de aspiración natural independientemente del tipo de aplicación, estacionaria o automoción, mientras que para motores sobrealimentados suele tomar valores mayores que la unidad. La norma ISO 3046-1 (1995) recomienda usar  $b = -0.75$  para motores diesel de aspiración natural de aplicaciones estacionarias, mientras que la norma SAE J816b (1979) recomienda valores de  $b = -0.7$  para el mismo tipo de motor. Ambas normas coinciden en recomendar valores de  $a=1$  y  $b=-0.5$  para MEP de aspiración natural que usan combustibles líquidos.

Para MEP de automoción la norma DIN 70020 (1986) recomienda  $a=1$  y  $b=-0.5$  con condiciones atmosféricas de referencia de  $p_0=1.01325$  bar y  $T_0=293$  K. La norma SAE J 1349 (1995) recomienda  $a=1$  y  $b=-0.5$ , pero resta de la presión la del vapor de agua en la atmósfera, siendo las condiciones de referencia  $p_0=0.99$  bar,  $T_0=302.4$  K y  $p_{0v}=0.013$  bar. Este factor de corrección se recomienda para un rango de presiones entre  $0.95$  y  $1.01$  bar y entre  $288.5$  y  $316.3$  K. La norma japonesa JIS D 1001 (Sodré y Soares, 2003), es similar a la norma SAE J1349 (1995), sólo que el valor de  $b$  es  $-0.75$  y las condiciones de referencia son  $p_0=1.01325$  bar,  $T_0=293$  K. La norma ISO 1585 (Sodré y Soares, 2003) recomienda valores de  $b=-0.6$ , siendo las condiciones de referencia  $p_0=1$  bar,  $T_0=298$  K y  $p_{0v}=0.01$  bar. Este factor de corrección se recomienda para un rango de presiones entre  $0.8$  y  $1$  bar y un rango de temperaturas entre  $288$  y  $308$  K.

En la práctica, los valores más usados en la literatura para motores de aspiración natural son  $a=1$  y  $b=-0.5$ , que Heywood (1988) justifica por la dependencia directa entre la potencia y el gasto admitido, el cual depende del producto  $P_{adm} \cdot T_{adm}^{-0.5}$ . Existen, sin embargo, algunos autores que limitan la validez de esta correlación. Por ejemplo, Harari y Sher (1993) encontraron que los valores antes mencionados aplicados a motores de encendido provocado

(MEP) de dos tiempos, solo tienen validez a regímenes de giro inferiores a 6000 rpm y presiones atmosféricas desde 70 kPa. Para regímenes de giro mayores a 6000 rpm, propusieron factores de corrección  $a=2$  y  $b=-0.8$  y cuya validez se extiende hasta los 44 kPa.

En Varela, (2001) se define la altura de restablecimiento del compresor para motores turbosobrealimentados de aviación como aquella a la cual el compresor está siendo utilizado a su capacidad máxima, con la misión de mantener la densidad igual a la de referencia, y por lo tanto la potencia desarrollada. Para lograr esto último es necesario mantener el gasto de aire independiente de las condiciones a la salida del compresor ( $p_{adm,0}$  y  $T_{adm,0}$ ), lo que hace necesario mantener la relación  $p_{adm} \cdot T_{adm}^{-0.5}$  constante, justificación que coincide con la propuesta por Heywood (1988). Relacionando este término con los datos de presión y temperatura de remanso de la toma dinámica y la velocidad de vuelo de diseño de la aeronave, existen métodos para determinar la relación de compresión en el compresor necesaria para recuperar el gasto másico de admisión, y por tanto la potencia del motor.

Human et al. (1990) simularon el efecto de la altura (1800 msnm) en un sistema de muestreo a volumen constante (CVS) generando depresiones y contrapresiones en los colectores de admisión y escape. En un motor Caterpillar 3208 de aspiración natural, V-8, 10.4 litros de cilindrada, obtuvieron una disminución del par a plena carga (12%) al aumentar la altura, la cual fue aproximadamente constante en todo el rango de regímenes de giro del motor. En un motor Cummins NTCC-350 turboalimentado, 6 cilindros en línea, de 14 litros de cilindrada total, obtuvieron una disminución del par a plena carga entre 15 y 30% a velocidades inferiores a 1200 rpm (régimen de par máximo). A partir de este régimen de giro no se apreció diferencia al variar la altura, mostrando la importancia del turboalimentador. Chaffin y Ullman (1994) emplearon la misma instalación anterior para estudiar los efectos sobre las emisiones y las prestaciones en un motor Detroit Diesel serie 60, de 11.1 litros de cilindrada, 6 cilindros en línea, turboalimentado, postenfriado, que utilizaba un sistema de control electrónico con corrección por presión barométrica (DDEC II) operando a la altura de Ciudad de México (2160 msnm). En la prueba transitoria obtuvieron una disminución en el trabajo (kWh) en torno al 6.5%, y un incremento en el consumo específico de combustible en torno a 1.5% con respecto a 245 msnm. En la prueba estacionaria a plena carga midieron disminuciones en la potencia inferiores al 2% a 1200, 1500 y 1800 rpm, lo que mostró la importancia del turbocompresor y del control electrónico. Graboski y McCormick (1997) y McCormick et al. (1999) obtuvieron tendencias semejantes a 1600 msnm en un motor Cummins B5.9G de gas natural de quemado pobre con control de lazo cerrado y turboalimentado. El par efectivo a plena carga disminuyó en torno a 20% a regímenes de giro inferiores a 1600 rpm, y a partir



de este régimen, no se apreció diferencia al variar la altura sobre el nivel del mar.

En vista de lo anterior, los fabricantes de motores han desarrollado diversos métodos para compensar el efecto de la altitud en sus motores, tales como la implementación de la turboalimentación o el uso de sensores barométricos que retroalimentan a la unidad de control electrónico para que actúe corrigiendo los parámetros de la inyección de combustible. Se han implementado algunos métodos de corrección por presión barométrica que no requieren el uso de sensores adicionales. Estos utilizan algoritmos de cálculo basados en las ecuaciones de flujo compresible a través de una restricción. Las entradas al algoritmo se obtienen de los sensores existentes en el motor (Olin y Maloney, 1999).

En este artículo se cuantifican algunos de estos efectos; y se hace una estimación del efecto de la altitud sobre las prestaciones de motores de aspiración natural y turboalimentados sin sistemas correctores en función de la presión ambiental.

## PLANTEAMIENTO

La altitud sobre el nivel del mar,  $z$ , tiene un importante efecto sobre las condiciones en las que se encuentra el aire y sobre su composición. Además de las variaciones de temperatura propias de las distintas capas de la atmósfera, la presión del aire disminuye a medida que crece la altitud del punto de medida, debido a la reducción del peso de la columna que soporta por encima, reducción que se debe tanto a la menor altura de la columna como a la menor densidad,  $\rho$ , del aire que la ocupa. Más concretamente, la variación de la presión a lo largo de un elemento diferencial de altura es debida al peso del aire que ocupa ese elemento por unidad de sección, es decir:

$$\frac{dp}{dz} = -g\rho \quad (2)$$

Este doble efecto de la disminución de la presión y de la densidad no es la única consecuencia de la altitud que pueda afectar al desarrollo de actividades humanas. Además, debido al diferente peso molecular de los componentes del aire, éste varía también su composición. En un elemento diferencial de volumen, este cambio de composición es causado por la variación de la presión parcial de cada componente  $i$ , generada como consecuencia de su diferencia de peso con respecto al de la mezcla de gases. Siendo  $n_i$  el número de moles y  $PM_i$  el peso molecular del componente  $i$ :

$$\frac{dp_i}{dz} = -g \frac{dn_i (PM_i - PM_a)}{dV} \quad (3)$$

No es objeto de la psicrometría estudiar las condiciones del aire más allá de la troposfera, pero sí conviene al menos conocer qué ocurre en el espesor atmosférico en el que puede existir población humana. Para ello, es necesario aceptar algunas hipótesis en relación a las siguientes cuestiones:

#### Comportamiento termodinámico del aire

La hipótesis más habitual en psicrometría es suponer comportamiento de gas ideal, ya que el factor de compresibilidad del aire, cuando la presión es inferior a 1 atm y la temperatura rara vez sobrepasa los límites [-20,50] °C, es muy próximo a la unidad, y por tanto, el error cometido al considerarlo como gas perfecto es muy pequeño. Expresada en función de la densidad,  $\rho$ , la ecuación de estado del gas ideal (siendo  $R_a$  la constante másica del aire):

$$p = \rho R_a T \quad (4)$$

#### Perfil térmico de la columna de aire

La hipótesis más sencilla consiste en suponer que la temperatura es uniforme al variar la altitud (columna isoterma). Sin embargo, esta hipótesis puede no ser muy precisa ya que es conocida la reducción de temperatura del aire con la altitud a lo largo del espesor de la troposfera (algo más de 10 km). Esta reducción puede manifestarse, bien suponiendo una tasa de enfriamiento constante (puede tomarse, por ejemplo, 6.5 K/km, o bien un perfil triangular con una temperatura constante de -55°C a 11000 m de altitud (Conan, 1990). En cualquier caso, en el rango de altitud habitable, la gran cantidad de factores que pueden influir sobre la temperatura del aire hace muy difícil disponer de hipótesis adecuadas. Debe tenerse presente, por tanto, que las expresiones que siguen permiten sólo obtener valores orientativos, y que las variaciones locales de temperatura pueden corregir dichos valores.

Suponiendo comportamiento del aire como gas ideal, las variaciones de la presión con la altitud (ecuación 2) y de la fracción molar del componente  $i$  ( $X_i$ ) con la altitud (ecuación 3) se transforman en las siguientes ecuaciones, la primera de las cuales es conocida como ecuación hidrostática:

$$\frac{dp}{p} = -\frac{g}{R_a T} dz \quad (5)$$

$$\frac{dX_i}{X_i} = -\frac{g}{RT} (PM_i - PM_a) dz \quad (6)$$

Siendo R la constante universal de los gases, y  $R_a$  la específica del aire. Si se supone un perfil isoterma de la columna de aire, la integración de estas ecuaciones desde la altitud del nivel del mar (subíndice 0) hasta una altura genérica conduce a sendas leyes exponenciales:

$$p = p_0 e^{-\frac{gz}{R_a T}} \quad (7)$$

$$X_i = X_{i0} e^{-\frac{gz}{R_a T} (PM_i - PM_a)} \quad (8)$$

Mientras que si se supone un perfil triangular  $dT=Kdz$ , la integración de las anteriores ecuaciones diferenciales da como resultado leyes de tipo potencial:

$$p = p_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{g}{R_a K}} \quad (9)$$

$$X_i = X_{i0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{g}{R_a K} (PM_i - PM_a)} \quad (10)$$

Los resultados de presión ambiental obtenidos con ambas hipótesis se representan en la [Fig. 1](#) para valores de altitud en el rango habitable. Las líneas continuas representan la columna isoterma a -20, -10, 0, 10 y 20°C de abajo hacia arriba respectivamente. Al igual que en las siguientes figuras, los resultados obtenidos bajo la hipótesis de columna isoterma corresponden a diversos valores de la temperatura de ésta, mientras que los obtenidos con columna triangular corresponden a una temperatura de 20°C a cota cero con vértice en -55°C a cota 11000 m.

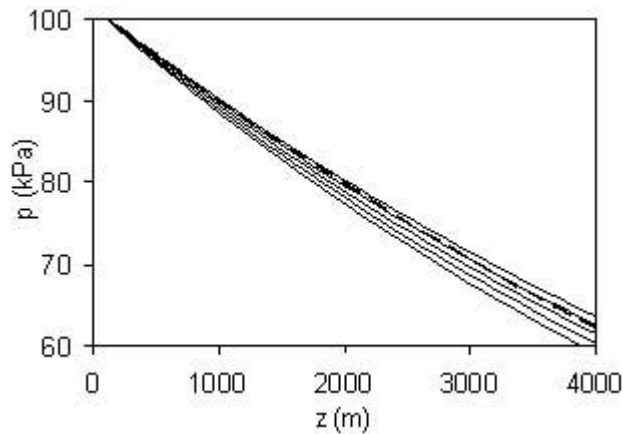


Fig. 1: Efecto de la altitud sobre la presión

atmosférica. Columna isoterma ( $\frac{3}{4}$ ) y columna triangular (---) con  $T_{(z=0)} = 20^{\circ}\text{C}$

En esta figura se aprecia un efecto más notable al variar la presión con la altitud que al variar la temperatura, lo que se corresponde con los resultados experimentales de Soares y Sodré, (2002).

En concreto, la fracción molar de oxígeno en el aire disminuye con la altitud, al ser el oxígeno ( $PM_{O_2}=32 \text{ kg/kmol}$ ) más pesado que el aire ( $PM_a<29 \text{ kg/kmol}$ ), tal y como se observa en la Fig. 2, al aplicar las dos hipótesis de perfil térmico planteadas. Las líneas continuas representan la columna isoterma a  $-20, -10, 0, 10$  y  $20^{\circ}\text{C}$  de abajo hacia arriba respectivamente. De otro lado, la fracción molar del nitrógeno aumenta ligeramente al ser algo más ligero que el aire. La compensación de estos dos efectos hace que las variaciones del peso molecular del aire seco sean muy pequeñas.

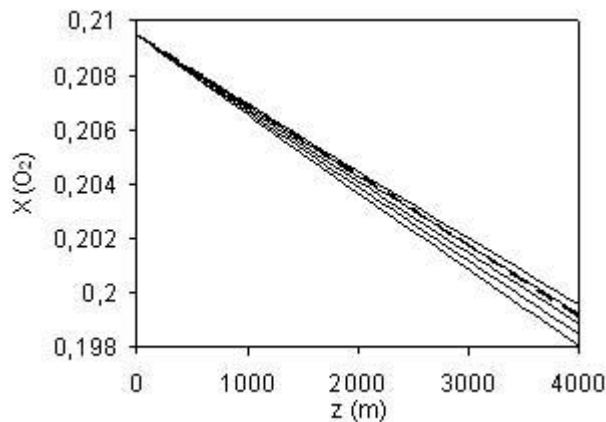


Fig. 2: Efecto de la altitud sobre la fracción molar de oxígeno. Columna isoterma ( $\frac{3}{4}$ ) y columna triangular (---) con  $T_{(z=0)} = 20^{\circ}\text{C}$

La concentración másica de oxígeno en el aire ( $C_{O_2}$ ) disminuye con la altitud, tanto porque se reduce su fracción molar en el aire como porque cae la densidad de éste. En efecto:

$$C_{O_2} = \frac{m_{O_2}}{V} = \frac{X_{O_2}P}{R_{O_2}T} \quad (11)$$

Sustituyendo en esta fórmula las expresiones, obtenidas con la hipótesis de columna isoterma, de la variación de la presión y la fracción molar de oxígeno,

ecuaciones (7) y (8) respectivamente; y escribiendo el resultado en función de la concentración de oxígeno a cota cero:

$$C_{O_2} = C_{O_2,0} e^{-\frac{gz}{R_{O_2} T}} \quad (12)$$

y haciendo lo propio a partir de las expresiones obtenidas con la hipótesis de columna triangular, ecuación (9) y ecuación (10):

$$C_{O_2} = C_{O_2,0} \left( \frac{T}{T_0} \right)^{\left( \frac{g}{R_{O_2} K} + 1 \right)} \quad (13)$$

La **Fig. 3** muestra que a medida que la altitud aumenta la concentración de oxígeno disminuye, cualquiera que sea la temperatura ambiental. En la figura las líneas continuas representan la columna isoterma a -20, -10, 0, 10 y 20°C respectivamente de arriba hacia abajo. La reducción en la concentración de oxígeno es menos pronunciada al aplicar la hipótesis de columna triangular.

En cualquier caso, de los dos efectos que contribuyen a la disminución de la concentración de oxígeno con la altitud, el más importante es, con diferencia, el efecto de la presión. Pero además, es necesario indicar que los cambios de fracción molar (consecuencia de un proceso de difusión molecular) son normalmente inapreciables, debido a la preponderancia de los movimientos convectivos macroscópicos que desplazan los gases verticalmente (Wayne, 2000).

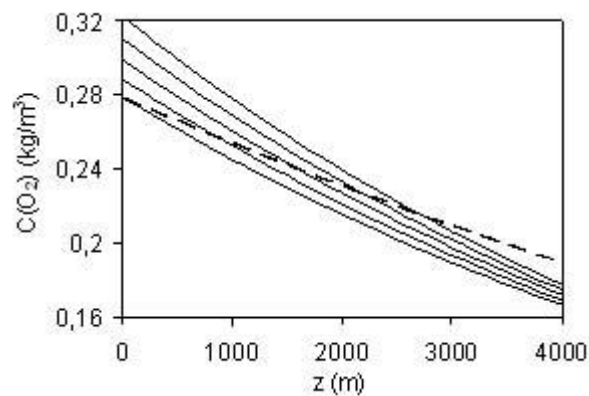


Fig. 3: Efecto de la altitud sobre la concentración de oxígeno. Columna isoterma ( $\frac{3}{4}$ ) y columna triangular (---) con  $T_{(z=0)} = 20^\circ\text{C}$

Los efectos mostrados sobre la presión, temperatura, fracción molar de oxígeno y su concentración, pueden a su vez tener distinta influencia sobre las prestaciones del motor, sobre el proceso de combustión y sobre las emisiones contaminantes. En este trabajo solo se presentan las conclusiones más relevantes sobre las prestaciones del motor, dejándose para un trabajo posterior el estudio de los efectos sobre la combustión y las emisiones.

## EFFECTO SOBRE LAS PRESTACIONES

Las prestaciones máximas de cualquier motor alternativo vienen limitadas por la capacidad de renovar la masa de aire en el cilindro, que para una configuración determinada (cilindrada, sección de entrada en válvulas y geometría de colectores, etc.), se expresa por medio del rendimiento volumétrico ( $h_v$ ). Para cuantificar el efecto de la altitud sobre estas variables en motores de aspiración natural puede hacerse uso de la ecuación (1) para la potencia indicada y de la ecuación (14) para  $h_v$  (Heywood, 1988), (Harari y Sher, 1993), (Soares y Sodré, 2002):

$$\frac{\eta_v}{\eta_{v0}} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^b \quad (14)$$

Tomando  $b=-0.5$  en la ecuación (1) y haciendo uso de la hipótesis de columna triangular (partiendo de 20°C a  $z=0$  msnm), se obtienen los efectos mostrados en la Fig. 4.

Por otra parte la norma ISO 3046-1 (1995) recomienda el uso de la ecuación (15) para ajustar la potencia efectiva de motores estacionarios por variación en las condiciones ambientales. En esta ecuación, el factor de corrección de la potencia indicada, se ajusta con el rendimiento mecánico:

$$\frac{N_e}{N_{e0}} = \frac{N_i}{N_{i0}} - 0.7 \left( 1 - \frac{N_i}{N_{i0}} \right) \left( \frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (15)$$

donde  $N_e$  es la potencia efectiva,  $\eta_m$  es el rendimiento mecánico del motor; y para el cálculo de relación de potencias indicadas se propone, si se desprecia el efecto de la humedad del ambiente y de la temperatura del refrigerante del aire de admisión, la misma ecuación (1), donde los exponentes  $a$  y  $b$  toman diferentes valores en función del tipo de motor y de las condiciones de operación. Para motores diesel de aspiración natural cuya potencia estaría limitada por insuficiente exceso de aire,  $a=1$  y  $b=-0.75$ ; mientras que para motores diesel cuatro tiempos, turboalimentados, sin interenfriador (intercooler), de media o baja velocidad recomienda  $a=1$  y  $b=-2$ , independientemente del

grado de sobrealimentación del motor. La ecuación (15) es igual a la ecuación (1) cuando no se considera el efecto del rendimiento mecánico ( $h_m=1$ ).

Al representarla gráficamente (Fig. 4) se observa, tal y como se ha mencionado, que al disminuir el rendimiento mecánico del motor, las pérdidas de potencia efectiva se acentúan con respecto de las de potencia indicada. Las líneas representan los casos de  $h_m = 1, 0.95, 0.9, 0.85$  y  $0.8$  de arriba hacia abajo respectivamente.

Además, esta disminución de la potencia con la altura es aproximadamente constante en todo el rango de regímenes de giro del motor, por lo que puede extenderse también al par (Human et al., 1990), (Lizhong et al., 1995).

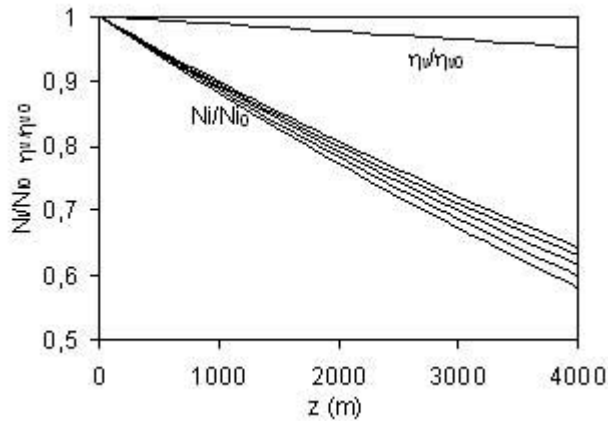


Fig. 4: Efecto de la altitud sobre el rendimiento volumétrico ( $h_v/h_{v0}$ ) y la potencia efectiva máxima ( $N_i/N_{i0}$ ) de un motor de aspiración natural suponiendo columna triangular

En los motores diesel turboalimentados, el efecto de la altitud sobre la potencia no puede obtenerse como una superposición de los efectos sobre el turbocompresor y sobre el motor alternativo, puesto que ambas máquinas están interrelacionadas. De hecho, el gasto de aire ( $\dot{m}_a$ ) que el compresor es capaz de trasegar suele corregirse por medio de la siguiente ecuación (similar a la corrección de potencia de un motor de aspiración natural):

$$\frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_{a0}} = \frac{P}{P_0} \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{-0.5} \quad (16)$$

Un motor con determinado turbogrupo regulado para que entregue la cantidad de aire necesaria en el punto de máximo par, al nivel del mar tendría un comportamiento, en el mapa par efectivo – régimen (M-n), similar al representado en la [Fig. 5a](#).

En línea continua se ha representado el par máximo en función del régimen de giro que el motor es capaz de entregar a nivel del mar. Al trabajar en altitud, existe una zona a bajo régimen de giro en la que el turbogrupo no tiene efecto positivo sobre el gasto de aire que llega al motor, de manera que éste no es capaz de entregar el par exigido a nivel del mar. A partir de un determinado régimen, la sobrealimentación anula el defecto de aire provocado por la altitud, de manera que no sólo se compensa dicho efecto, sino que el turbo podría llegar a introducir más aire en el motor y con ello lograr más par efectivo.

Para compensar el efecto de falta de aire por la altitud en todo el rango de regímenes, los motores suelen equiparse con un turbogrupo capaz de compensar dicho efecto a cualquier régimen de giro, incorporando para la Zona de Regulación sistemas de control como válvula de control de flujo (waste-gate), turbina de geometría variable (TGV), etc. ([Fig. 5b](#)).

Puede suponerse que el motor sobrealimentado se comporta como un motor de aspiración natural sometido a la presión y temperatura de admisión (después del compresor). Denominando  $p_{adm}$  y  $T_{adm}$  a la presión y temperatura de la admisión y adoptando las expresiones propuestas por Heywood (1988) para motores de aspiración natural, la expresión queda:

$$\left(\frac{N_i}{N_{i0}}\right)_{T.C.} = \frac{p_{adm}}{p_{adm,0}} \cdot \left(\frac{T_{adm}}{T_{adm,0}}\right)^{-0.5}$$

$$= \frac{p_{adm}}{p} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{p_0}{p_{adm,0}} \cdot \left(\frac{T_{adm}}{T} \cdot \frac{T}{T_0} \cdot \frac{T_0}{T_{adm,0}}\right)^{-0.5} \quad (17)$$

Escribiendo esta expresión en función del grado de sobrealimentación a la altitud  $z$  ( $\pi = p_{adm}/p$ ), y del grado de sobrealimentación al nivel del mar ( $\pi_0 = p_{adm,0}/p_0$ ), y relacionando las condiciones de entrada y salida del compresor por medio de una transformación politrópica de exponente  $n$ , se obtiene la siguiente expresión:

$$\left(\frac{N_i}{N_{i0}}\right)_{T.C.} = \left(\frac{\pi}{\pi_0}\right)^{0.5 + \frac{0.5}{n}} \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^{-0.5} \quad (18)$$



En la Fig. 6 se representa la variación de la potencia indicada con la altitud para diferentes grados de sobrealimentación, siendo las líneas  $p/p_0 = 1, 1.2, 1.4,$  y  $1.6,$  respectivamente de abajo hacia arriba. Las curvas se han obtenido con la ecuación (18), suponiendo un exponente politrópico  $n=1.4.$

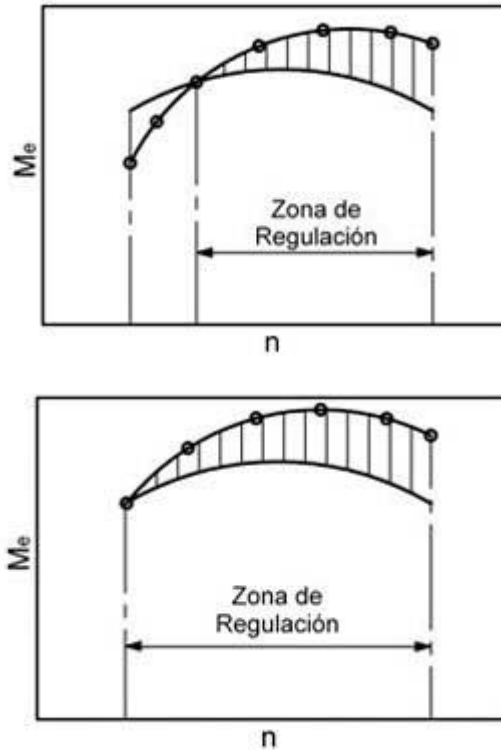


Fig. 5: Efecto de la altitud en un motor sobrealimentado.  $z=0$  ( $\frac{3}{4}$ ) y  $z \gg 0$  ( $AE$ )

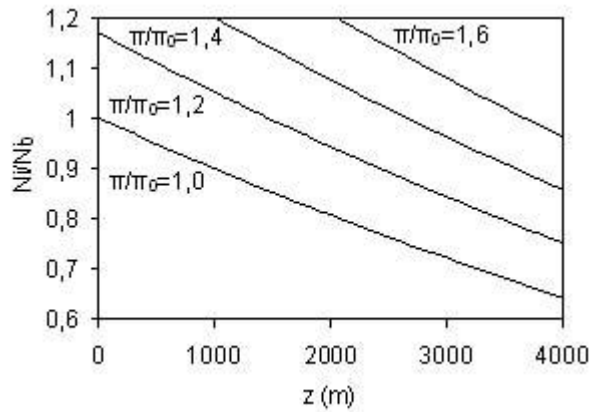


Fig. 6: Potencia indicada en función de la altitud para diferentes grados de sobrealimentación ( $p/p_0$ ) suponiendo columna triangular

Como se aprecia en la [Fig. 6](#), la recuperación de prestaciones del motor con la altitud depende del grado de sobrealimentación. Sin embargo, en algunos casos como por ejemplo la Norma ISO 3046-1 (1995), a propuesta del International Council on Combustion Engines (CIMAC), se acepta para todo tipo de motores diesel estacionarios, sobrealimentados sin interenfriador, una pérdida de potencia cuantificada por los exponentes  $a=0.7$  y  $b=-2$  en la ecuación (1), independientemente del grado de sobrealimentación. Es evidente que la validez de esta correlación no puede ser independiente del grado de sobrealimentación, ni por lo tanto del grado de carga del motor, por lo que es de suponer que dicho organismo adoptó un grado de sobrealimentación fijo.

Suponiendo una compresión isoentrópica con  $n=1.4$ , y suponiendo que los motores sobre-alimentados equipan turbogrupos sobredi-mensionados de tal forma que en ningún caso experimenten pérdida de potencia ( $N_i/N_{i0} = 1$ ), tal como se argumenta en Lapuerta et al. (2005), puede despejarse la siguiente ecuación, que proporciona el grado de sobre-alimentación que permitiría compensar por completo la pérdida de potencia con la altitud.

$$\pi = \pi_0 \cdot \left( \frac{P}{P_0} \right)^{-1.16667} \cdot \left( \frac{T}{T_0} \right)^{0.58336} \quad (19)$$

Este resultado se ha representado en la [Fig. 7](#) para diversas condiciones de sobrealimentación de diseño, descritas por el grado de sobrealimentación a nivel del mar ( $p_0$ ), que pueden corresponder a diferentes condiciones operativas de un mismo motor o de diferentes motores. El caso de  $p_0=1$  correspondería a un motor que al nivel del mar no sobrealimenta, y que al elevarse en altitud solo lo hace en la medida necesaria para mantener la potencia. Este resultado constituye una orientación tanto para el dimensionamiento de grupos de sobrealimentación que vayan a equipar motores que operen en altura, como de los sistemas de compensación (waste-gate, turbinas de geometría variable, etc.) que dichos motores requieren cuando operan al nivel del mar para no sobrepasar la potencia nominal.

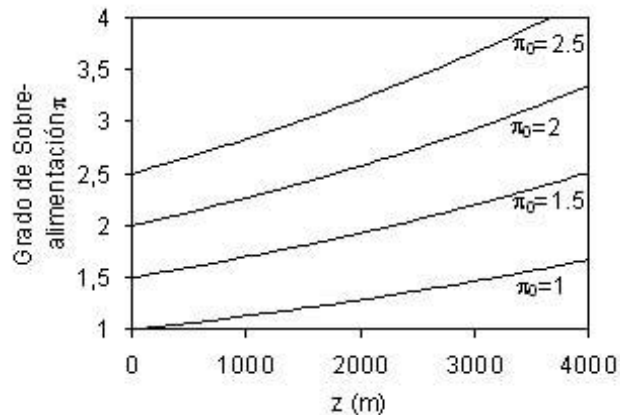


Fig. 7: Efecto del grado de sobrealimentación del compresor para un motor que no cambia su potencia indicada con la altitud

El mapa de condiciones de sobrealimentación de la Fig. 7 se utiliza para analizar los procesos de mezcla y combustión en motores diesel y los procesos de formación de contaminantes.

## CONCLUSIONES

Para estimar los efectos de la altitud sobre cualquier motor de combustión interna, es adecuado utilizar la ecuación hidrostática atmosférica suponiendo un perfil triangular de temperaturas.

La altitud sobre el nivel del mar ejerce efectos tanto sobre la presión y temperatura atmosféricas como sobre la concentración de oxígeno en el aire y la composición de éste. Sin embargo, para cuantificar el efecto sobre las prestaciones del motor, basta con considerar el efecto sobre las condiciones termodinámicas.

La altitud disminuye notablemente la potencia indicada, y por tanto la efectiva, desarrollada por un motor de aspiración natural, en todo el rango de regímenes de giro. Sin embargo este efecto se reduce al turbosobrealimentar el motor, pudiendo incluso llegar a compensarse tal reducción a alto régimen.

Se ha obtenido una expresión que permite calcular el incremento de relación de compresión del turbogrupo, necesario para evitar cualquier pérdida de potencia al aumentar la altitud.

Las estrategias más recientes de diseño tienden a sobredimensionar el turbogrupo con el fin de evitar la pérdida de potencia a bajo régimen, limitando el exceso de potencia que éste proporcionaría a alto régimen, por medio de sistemas de compensación electrónica-mente gobernados

Reporte de la especificaciones de las normas Europeas para biodiesel puro

ANEXO 3

ESPECIFICACIONES QUE DEBE CUMPLIR UN BIODIESEL

**Especificaciones del Biodiesel (Unión Europea)**

PROPIEDAD	UNIDAD	ESPECIFICACIONES	MÉTODO
<b>PROPIEDADES COMO COMBUSTIBLE</b>			
Densidad a 15°C	g/cm <sup>3</sup>	0,86-0,90	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viscosidad Cinemática 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	3,5-5,0	EN ISO 3104
Punto de Inflamación	°C	>101	ISO/CD 3679
Punto de Obstrucción del Filtro Frio (POFF)	°C verano °C invierno	máx. 0 máx. <-15	DIN EN 116
Azufre	mg/kg	máx. 10	
Residuo Carbonoso Conradson (10 % residuo destilación)	% p/p	máx. 0,30	EN ISO 10370
Índice de Cetano	-	mín. 51	EN ISO 5165
Contenido en Cenizas	% p/p	máx. 0,02	ISO 3987
Contenido en Agua	mg/kg	máx. 500	EN ISO 12937
Partículas Sólidas	g/m <sup>3</sup>	máx. 20	DIN 51419
Corrosión al Cobre (3h/50 °C)	-	máx. 1	EN ISO 2160
Estabilidad a la Oxidación (110 °C)	horas	6	pr EN 14112
<b>PROPIEDADES COMO ÉSTER</b>			
Índice de Acidez	mg KOH/g	máx. 0,5	pr EN 14104
Contenido en Metanol	% p/p	máx. 0,2	pr EN 14110
Contenido en Monoglicéridos	% p/p	máx. 0,8	pr EN 14105
Contenido en Diglicéridos	% p/p	máx. 0,2	pr EN 14105
Contenido en Triglicéridos	% p/p	máx. 0,2	pr EN 14105
Glicerina ligada	% p/p	máx. 0,2	CÁLCULO
Glicerina libre	% p/p	máx. 0,02	pr EN 14105 pr EN 14105
Glicerina total	% p/p	máx. 0,25	pr EN 14105
Índice de yodo	-	máx. 120	pr EN 14111
Metales Alcalinos (Na + K)	mg/kg	máx. 5	pr EN 14108 pr EN 14109
Fósforo	mg/kg	máx. 10	pr EN 14107

## ANEXO 4

Vehículo a realizar las pruebas: Volqueta NISSAN FD6-T



## ANEXO 5

Preparación del vehículo: Limpieza del Vehículo luego de su adquisición



## ANEXO 6

Preparación del vehículo: Lavada de motor, y sistemas para facilitar la manipulación



## ANEXO 7

Mantenimiento de la Bomba de inyección: en esta figura se puede apreciar el desmontaje de la bomba de inyección previo a su mantenimiento



## ANEXO 8

Mantenimiento de la Bomba de inyección: en esta figura se puede apreciar el montaje de la bomba de inyección, luego de ser sometida a mantenimiento.



## ANEXO 9

Pruebas de torque, potencia y opacidad realizadas en el CICCE: en esta figura se muestra el vehículo en las instalaciones de CCiCEV, para ser tomado los valores de Torque, Potencias, y Opacidad





## ANEXO 10

Pruebas de torque, potencia y opacidad realizadas en el CICCEV: en vehículo en la etapa de conexión de equipos: en el CCICEV



## ANEXO 11

Pruebas de torque, potencia y opacidad. pantalla del dinamómetro, se puede apreciar la pantalla de RPM



## ANEXO 12

Computadora del Dinamómetro, a esta computadora le llegan todos los valores tomados por los equipos del dinamómetro para mostrarlos en la pantalla



## ANEXO 13

Simulador de carga de aire: este equipo nos sirve para que el motor no sufra recalentamientos por falta de aire.



#### ANEXO 14

Desmontaje del motor: luego de realizarse todas las pruebas se desmonto el motor, para realizar el diseño de la estructura



#### ANEXO 15

Motor sobre la estructura: el motor del vehículo en el que se realizó las pruebas sobre la estructura



## ANEXO 16

Motor sobre la estructura: el motor del vehículo en el que se realizó las pruebas sobre la estructura



## ANEXO 17

Proceso de pintura: luego de realizar el montaje del motor, la limpieza, se procedió a pintar los sistemas del motor y la estructura



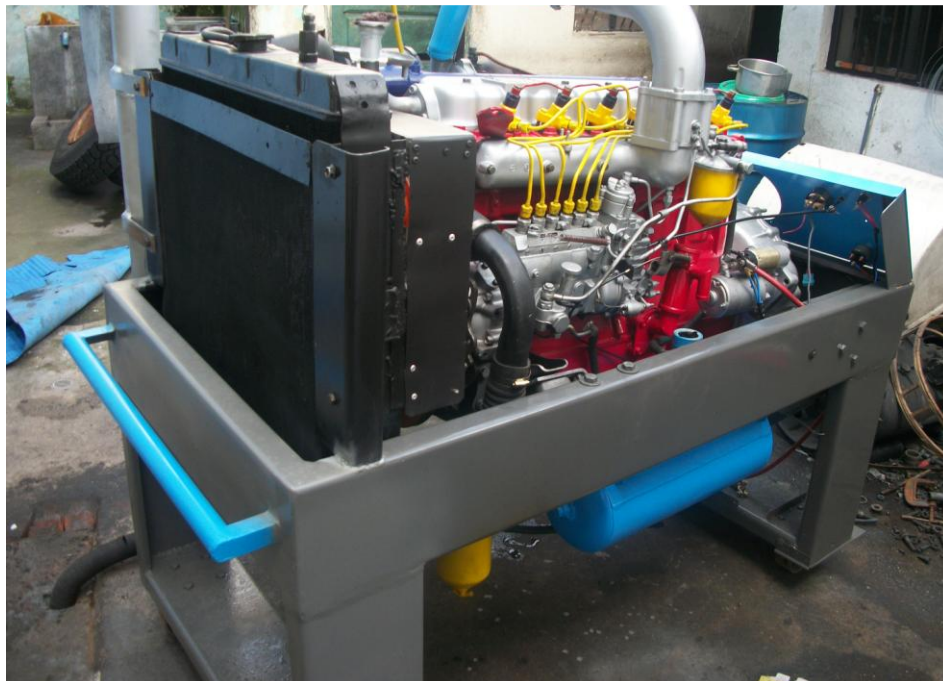
## ANEXO 18

Proceso de pintura: luego de realizar el montaje del motor, la limpieza, se procedió a pintar los sistemas del motor y la estructura



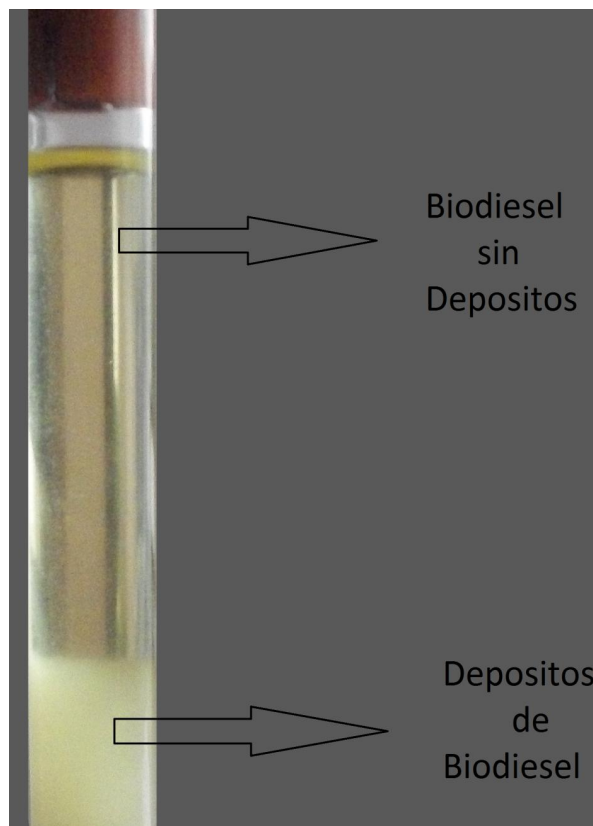
## ANEXO 19

Proceso de pintura: luego de realizar el montaje del motor, la limpieza, se procedió a pintar los sistemas del motor y la estructura



## ANEXO 20

Biodiesel sin filtrar: en esta figura se muestra el biodiesel asentado o reposo sin filtrar.



## ANEXO 21

Residuos de filtrado del biodiesel: luego del proceso de filtrado, se muestra los almidones que contiene el biodiesel

