

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

**“ESTUDIO TERMODINÁMICO DE UN MOTOR DE ENCENDIDO POR
COMPRESIÓN UTILIZANDO ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS COMO
COMBUSTIBLE ALTERNO”**

**Tesis previa a la obtención del título
de Ingeniero Mecánico Automotriz**

Autores:

Alex Marcelo Álvarez Basantes

Carlos David Álvarez Basantes

Oscar Fabián Montesdeoca Pichucho

Director:

Ing. Juan Fernando Chica Segovia

Cuenca, Mayo 2013

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y DERECHOS DE AUTOR

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Mecánica Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigentes



Alex Marcelo Alvarez Basantes



Carlos David Alvarez Basantes



Oscar Fabián Montesdeoca Pichucho

CERTIFICADO

Que el presente proyecto de tesis “Estudio termodinámico de un motor de encendido por compresión utilizando aceite residual de frituras como combustible alternativo”, realizado por los estudiantes: Alex Marcelo Alvarez Basantes, Carlos David Alvarez Basantes, y Oscar Fabián Montesdeoca Pichucho, fue dirigido por mi persona.



Ing. Juan Fernando Chica Segovia

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por haber concedido la vida, por guiarme en este camino y por llenarme de fortaleza en momentos de debilidad.

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y a la comunidad Salesiana en general ya que me han brindado los conocimientos y valores necesarios para tratar de ser un buen cristiano y honrado ciudadano como así lo querría nuestro padre, maestro y amigo, San Juan Bosco.

A todos los Docentes que han compartido su invaluable conocimiento teórico y práctico, compartiendo no solo la materia sino también su experiencia personal y laboral, que es una parte fundamental para nuestra carrera.

Le hago llegar un agradecimiento especial al Ing. Fernando Chica, por aceptar la dirección de la presente tesis, su paciencia, confianza y tiempo brindado nos permitieron seguir adelante.

Al encargado del laboratorio, Don Hernán, que nos brindó su amistad y nos supo colaborar de manera desinteresada, sus bromas y pasión por el futbol hicieron más ameno nuestro paso por la Universidad.

A los familiares, amigos y compañeros de clase, quienes compartieron con nosotros alegrías y ser parte fundamental para recuperarnos de las derrotas además de apoyar de una u otra manera haciéndonos sentir que no estábamos solos en este camino.

A la familia Vivar Herrera, la Sra. María Parapi y sus hijos Edwin y Cristian, quienes nos brindaron su amistad y apoyo logístico en una ciudad que para nosotros era desconocida y que hoy en día es como nuestro segundo hogar.

Carlos David Alvarez Basantes

Agradezco a mis compañeros y amigos Alex Marcelo y Carlos David por la amistad brindada durante toda la carrera universitaria y la realización de esta tesis, a su familia Álvarez Basantes por la hospitalidad que me mostraron en cada encuentro en la ciudad de Riobamba, a sus demás familiares que aportaron sin interés alguno para la realización de este proyecto, a nuestro director de tesis Ing. Fernando Chica por guiarnos durante la realización del mismo, a la Universidad Politécnica Salesiana y a todos sus docentes, al Ing. Rómulo Astudillo que me supo guiar y aconsejar de forma desinteresada al inicio de mi trayecto universitario y al Tnlgo. René León por sus consejos y enseñanzas durante la pasantía universitaria y al concluir la misma demostrarme su sincera amistad.

Oscar Fabián Montesdeoca Pichucho

Agradezco a Dios por el don de la vida, además de permitirme alcanzar una de mis metas anheladas ha cuidado de mis seres queridos en mi ausencia, supo colocar en mi camino a las personas adecuadas para cumplir mi objetivo, que gracias a sus estímulos lograron que manifieste lo mejor de mí en momentos críticos.

Le agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana y todos sus docentes, que por medio de sus conocimientos e infraestructura me han dado bases sólidas para un futuro de éxito, tanto en lo profesional como en lo personal, un agradecimiento especial al Ing. Fernando Chica quien acepto la dirección del presente proyecto de tesis.

Un agradecimiento especial al personal de mantenimiento automotriz de ETAPA EP., que me recibieron amablemente en sus instalaciones para realizar la pasantía universitaria, en donde encontré a un verdadero amigo como lo es el Tnlgo. Rene León, que con sus consejos y bromas me supo orientar por un mejor camino impulsándome siempre a alcanzar la excelencia.

Debo destacar a la familia Vivar Herrera, la Sra. María Parapi y sus hijos Edwin y Cristian, quienes fueron como nuestro segundo hogar con quienes hemos compartido demasiadas alegrías y jamás los olvidare.

Son muchas a las personas a las que debo agradecer por contribuir siempre en mi formación directa o indirectamente lo hare de forma personal, pero de momento les dedico este espacio.

Alex Marcelo Alvarez Basantes

DEDICATORIA

Este logro alcanzado se lo dedico a mis padres Carlos Alvarez y Gulnara Basantes, por su sacrificio y apoyo durante todo mi etapa de formación, por haberme enseñado los valores morales que hoy me permiten alcanzar esta meta.

A mi hermano Alex que ha sido hermano, amigo y compañero a la vez, gracias por la ayuda brindada y tu comprensión en momentos difíciles.

A mi hermanita Yesenia por ser el aporte de dulzura y alegría en los corazones de los miembros de nuestra familia, para nosotros jamás crecerás aunque el paso del tiempo demuestre lo contrario seguirás siendo la niña pequeña y consentida.

A mis abuelos que en vida me enseñaron tantas cosas con dulzura y cariño, el valor del trabajo, y su bendición al momento de mi partida hacia este gran sueño, fueron también fuentes de inspiración para continuar y aun cuando ya no estén aquí su recuerdo y enseñanzas las guardo con orgullo en mi corazón.

Carlos David Álvarez Basantes

Dedico este proyecto inicialmente a Dios por darme la vida, permitirme llegar hasta estos días donde puedo presenciar la culminación de mi tesis en un arduo pero satisfactorio camino hacia el profesionalismo académico, a mis padres Nilo Montesdeoca Vera y Vicenta Pichucho Mieles que supieron sacrificarse por brindarme lo necesario en esta nueva etapa de mi vida, a mis hermanos Patricia y Nilo Junior por los momentos vividos y consejos que me brindaron para darme fuerzas en la continuidad de mi carrera, del mismo modo a mis sobrinos Ezequiel, Areli y prontamente patricio y demás por ser para mí una fuente de inspiración, a mi novia Carolina por su amor y apoyo que me impulsaron a concluir de la mejor manera mi proyecto de graduación, a la señora Margarita Idrovo de Vergara que hizo de mi estadía en Cuenca mucho más calurosa siendo para mí una figura materna en esta tierra que para ese entonces desconocía, por último un agradecimiento a un sacerdote anónimo que al integrar las filas de la UPS me dio la oportunidad de ingresar a la institución cuando toda esperanza era nula y al no recordar su nombre solo le pido a Dios que lo colme de bendiciones.

Oscar Fabián Montesdeoca Pichucho

Dedico el presente proyecto de tesis a mis padres Carlos Alvarez P. y Gulnara Basantes quienes me supieron apoyar en mi formación humana y académica en todos los momentos de mi vida, a mi hermana Yesenia Alvarez, quien siempre está dispuesta escuchar a todos los miembros de la familia proporcionando alivio en momentos difíciles.

A todos los integrantes de la familia Alvarez que nos apoyaron logísticamente en el desarrollo de nuestra tesis brindándonos su ayuda desinteresada demostrándonos que no estamos solos en el transcurso de la vida.

A todos los integrantes de la familia Basantes que siempre nos dieron ánimos para continuar, además están pendientes de nosotros para compartir nuestros éxitos, también enseñarnos a ser más dinámicos y activos en la vida para no desaprovechar las oportunidades que esta nos brinda.

Alex Marcelo Alvarez Basantes

INDICE

CAPÍTULO 1	21
1.1 INTRODUCCION	21
1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIESEL DE CUATRO TIEMPOS	22
1.2.1 CICLO DE CUATRO TIEMPOS	22
1.2.3 APLICACIÓN DE LOS MOTORES DIESEL.....	23
1.3 GENERADOR ELÉCTRICO	24
1.3.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR ELECTRICO	24
1.3.2 EXCITATRIZ.....	27
1.4 ACEITES Y GRASAS.....	27
1.4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	28
1.4.3 GRASAS Y ACEITES EN TÉRMINOS QUÍMICOS	29
1.4.4 REACCIONES DE LAS GRASAS	32
1.4.5 QUÍMICA DEL PROCESADO DE LAS GRASAS Y LOS ACEITES	34
1.4.6 HIDROGENACIÓN	38
1.4.7 INTERESTERIFICACIÓN	38
1.4.8 ANÁLISIS QUÍMICO DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS	39
CAPITULO 2	44
2.1 INTRODUCCION	44
2.2 CALOR.....	45
2.2.1. CALOR ESPECÍFICO	46
2.3 SISTEMAS Y VOLÚMENES DE CONTROL	47
2.3.1. PROPIEDADES DE UN SISTEMA.....	49
2.4 ESCALAS DE TEMPERATURA	49
2.5 PRESIÓN	50
2.6 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA.....	51
2.7 MAQUINAS TÉRMICAS.....	51
2.7.1. EFICIENCIA TÉRMICA.....	53

2.7.2. MOTORES TÉRMICOS	53
2.8. CICLOS DE POTENCIA DE GAS.....	57
2.8.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS CICLOS DE POTENCIA	57
2.8.2. SUPOSICIONES DE AIRE FRIO ESTÁNDAR	58
2.8.3. CICLO DIÉSEL	58
2.9. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL MOTOR A DIÉSEL BOTONG HDY2500L	63
2.9.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DEL MOTOR A DIÉSEL BOTONG HDY2500L	64
CAPITULO 3	72
3.1 INTRODUCCION	72
3.2 RECOLECCION DE ACEITE RESIDUAL.....	73
3.3 FILTRADO DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS.....	75
3.3.1 METODOS DE FILTRADO	75
3.3.2 FILTRADO DEL ACEITE	78
3.4 COMO SE AVERIÓ EL MOTOR 1.....	79
3.5 PRUEBAS SONORAS DEL GENERADOR.....	80
3.6 ADAPTACIONES REALIZAS AL GENERADOR HDY2500L PARA SU FUNCIONAMIENTO CON ACEITE RESIDUAL	81
3.6.1 PRUEBAS PRELIMINARES DEL SERPENTÍN	81
3.6.2 COMO SE REALIZÓ LA ADAPTACIÓN	83
3.7 CANTIDAD DE AGUA EN EL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS	87
3.8 PUESTA EN MARCHA DEL GENERADOR HDY2500L.....	88
3.8.1 CONSTRUCCIÓN DEL TUBO DE ESCAPE DEFINITIVO	94
3.8.2 AUMENTO DE LA CANTIDAD DE ACEITE EN LA MEZCLA.....	95
3.8.3 COMO SE TOMARON LAS TEMPERATURAS DEL MOTOR USANDO ACEITE Y DIESEL COMO COMBUSTIBLE	97
3.9 ARMADO Y DESARMADO DEL GENERADOR HDY-2500L.....	97
3.9.1 DESARMADO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN	98
3.9.2 DESARMADO DEL MOTOR DIESEL	100

3.9.3 ARMADO DEL MOTOR DIESEL	108
3.10 OBTENCIÓN DE LA CARBONILLA DEL GENERADOR HDY-2500L	112
3.10.1 FUNCIONAMIENTO CON DIESEL	112
3.10.2 FUNCIONAMIENTO CON ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS.....	113
CAPITULO 4	115
4.1 INTRODUCCION	115
4.2 MONOXIDO DE CARBONO.....	116
4.2.1 EFECTOS EN LA SALUD.....	116
4.3 DIOXIDO DE AZUFRE	118
4.3.1 EFECTOS EN LA SALUD.....	119
4.4 ÓXIDOS DE NITRÓGENO	122
4.4.1 EFECTOS EN LA SALUD.....	123
4.5 ANALISIS DE LOS GASES DE COMBUSTION	126
CAPITULO 5	128
5.1 HISTORIAL DE FUNCIONAMIENTO CON DIÉSEL COMERCIAL	128
5.1.1 HISTORIAL DE FUNCIONAMIENTO CON DIESEL	128
5.1.2 HISTORIAL DE FUNCIONAMIENTO CON ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS (ARF).....	139
CONCLUSIONES.....	152
RECOMENDACIONES.....	154
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	155

INDICE DE ILUSTRACIONES

CAPITULO 1

<i>Figura 1. 1 Ciclos del motor diesel de cuatro tiempos</i>	23
<i>Figura 1. 2 Generador BOTON HDY2500L</i>	24
<i>Figura 1. 3 Posición 1</i>	25
<i>Figura 1. 4 Posición 2</i>	25
<i>Figura 1. 5 Posición 3</i>	26
<i>Figura 1. 6 Posición 4</i>	26
<i>Figura 1. 7 Viscosidad del aceite</i>	28
<i>Figura 1. 8 Diferencia entre grasa y aceite</i>	29
<i>Figura 1. 9 Insolubles en agua</i>	29
<i>Figura 1. 10 Estructura de un ácido graso saturado</i>	30
<i>Figura 1. 11 Estructura de un ácido graso insaturado</i>	31
<i>Figura 1. 12 Configuraciones comunes presentes en todos los aceites comestibles</i>	32
<i>Figura 1. 13 Aceite oxidado luego de ser sometido a altas temperaturas</i>	33
<i>Figura 1. 14 En presencia de humedad, el aceite se reparte químicamente y forma ácidos orgánicos</i>	33
<i>Figura 1. 15 Materia prima para la elaboración de aceite vegetal</i>	34
<i>Figura 1. 16 Por este proceso se obtiene el esclarecimiento del aceite</i>	35
<i>Figura 1. 17 Se muestra la sedimentación del aceite</i>	36
<i>Figura 1. 18 El aceite neutralizado se ubica en la parte superior</i>	36
<i>Figura 1. 19 Aceite filtrado luego del proceso de blanqueado</i>	37
<i>Figura 1. 20 Aceite desodorizado, eliminación de aromas no deseables</i>	38

CAPITULO 2

<i>Figura 2. 1 Aplicación de la termodinámica</i>	44
<i>Figura 2. 2 Descripción gráfica en el que dos sistemas a diferente temperatura se equilibran</i>	46
<i>Figura 2. 3 Esquemización de sistema, alrededores y frontera</i>	47
<i>Figura 2. 4 Ilustración de sistema cerrado</i>	48
<i>Figura 2. 5 Escala Celsius y Escala Kelvin</i>	49
<i>Figura 2. 6 Forma representativa en la que se indica que el trabajo puede ser convertido en calor de forma directa y completamente, pero el caso opuesto no es posible</i>	51
<i>Figura 2. 7 Esquemización de una máquina térmica</i>	52
<i>Figura 2. 8 Procesos termodinámicos llevados a cabo durante el ciclo Diésel</i>	60
<i>Figura 2. 9 Comparaciones entre el ciclo Diésel ideal y real</i>	62
<i>Figura 2. 10 Datos en tiempo real del clima</i>	64
<i>Figura 2. 11 Mediciones en el cilindro</i>	65
<i>Figura 2. 12 Mediciones en el cilindro</i>	65
<i>Figura 2. 13 Colocación de la superficie a ser medida a nivel</i>	66

<i>Figura 2. 14 Probeta de aceite</i>	66
<i>Figura 2. 15 Extracción del aceite de la cámara de combustión</i>	67

CAPITULO 3

<i>Figura 3. 1 Entrada principal de CARAVANA FAST FOOD</i>	73
<i>Figura 3. 2 Maquina de frituras (Freidora)</i>	74
<i>Figura 3. 3 Limpieza y corte de las papas</i>	74
<i>Figura 3. 4 Aceite vegetal almacenado (aceite residual de frituras)</i>	75
<i>Figura 3. 5 Método 1 de filtrado</i>	76
<i>Figura 3. 6 Método 2 de filtrado</i>	77
<i>Figura 3. 7 Método de filtrado 3</i>	78
<i>Figura 3. 8 Proceso de filtrado</i>	79
<i>Figura 3. 9 Elementos dañados en el motor</i>	80
<i>Figura 3. 10 Sonómetro</i>	81
<i>Figura 3. 11 Adaptación de un escape para la colocación de un serpentín</i>	82
<i>Figura 3. 12 Adaptación definitiva en el escape</i>	83
<i>Figura 3. 13 Adaptación en el generador HDY2500L</i>	84
<i>Figura 3. 14 Acoples para el funcionamiento en paralelo del aceite residual de frituras en el generador</i>	85
<i>Figura 3. 15 Bomba eléctrica necesaria a partir de una mezcla 50/50 (diesel/aceite residual)</i>	85
<i>Figura 3. 16 Filtro</i>	86
<i>Figura 3. 17 "Y" y "T" de bronce</i>	86
<i>Figura 3. 18 Comprobador del nivel de agua existente en el aceite residual</i>	87
<i>Figura 3. 19 Arranque del generador HDY2500L</i>	88
<i>Figura 3. 20 Colocación de aceite residual en un depósito diseñado para tal fin</i>	88
<i>Figura 3. 21 Generador HDL2500L con la adaptación realizada para funcionar con aceite residual de frituras</i>	90
<i>Figura 3. 22 Arranque con aceite de 2 tiempos, generación de humo contaminante</i>	91
<i>Figura 3. 23 Ubicación de la bomba eléctrica</i>	93
<i>Figura 3. 24 Adaptación definitiva en el tubo de escape</i>	95
<i>Figura 3. 25 Mezclas de diesel con aceite residual</i>	96
<i>Figura 3. 26 Partes del generador HDY-2500L</i>	97
<i>Figura 3. 27 Llaves de paso</i>	98
<i>Figura 3. 28 Cañerías del sistema de alimentación</i>	98
<i>Figura 3. 29 Componentes del sistema de alimentación</i>	99
<i>Figura 3. 30 Admisión y tubo de escape</i>	100
<i>Figura 3. 31 Protección del volante motor y varillita del descompresor</i>	100
<i>Figura 3. 32 Tapa de válvulas</i>	101
<i>Figura 3. 33 Cañería de alta presión y bomba mecánica</i>	101

<i>Figura 3. 34 Posición de las tuercas del cabezote.....</i>	102
<i>Figura 3. 35 Empaque de cobre.....</i>	102
<i>Figura 3. 36 Perno que junta los ejes del generador eléctrico con el motor diesel.</i>	103
<i>Figura 3. 37 Volante de inercia.</i>	103
<i>Figura 3. 38 Extracción del aceite motor.....</i>	104
<i>Figura 3. 39 Ubicación de los pernos de la campana.</i>	104
<i>Figura 3. 40 Base de goma.</i>	105
<i>Figura 3. 41 Partes internas del motor diesel.</i>	105
<i>Figura 3. 42 Partes internas del motor diesel.</i>	106
<i>Figura 3. 43 Árbol de levas, varillas empujadoras y taqués.</i>	106
<i>Figura 3. 44 Masas de compensación.</i>	107
<i>Figura 3. 45 Pistón.</i>	107
<i>Figura 3. 46 Cigüeñal.</i>	107
<i>Figura 3. 47 Bomba de aceite, estator y rotor.....</i>	108
<i>Figura 3. 48 Filtro de aceite y aceite nuevo.</i>	109
<i>Figura 3. 49 Nuevos empaques.</i>	109
<i>Figura 3. 50 Colocación de LOCTITE.....</i>	109
<i>Figura 3. 51 Marcas del compensador de masa.....</i>	110
<i>Figura 3. 52 Marcas del compensador de masa con respecto al cigüeñal.....</i>	110
<i>Figura 3. 53 Marcas en el árbol de levas.</i>	111
<i>Figura 3. 54 Marca del cigüeñal con respecto al árbol de levas.....</i>	111
<i>Figura 3. 55 Coincidencia de marcas.....</i>	111
<i>Figura 3. 56 Calibración de válvulas.</i>	112
<i>Figura 3. 57 Recolección de carbonilla.</i>	113
<i>Figura 3. 58 Obtención de carbonilla.</i>	113
<i>Figura 3. 59 Calibración de válvulas.</i>	114

CAPITULO 4

<i>Figura 4. 1 Generación de humo contaminante.....</i>	115
<i>Figura 4. 2 El monóxido de carbono y la salud.....</i>	117
<i>Figura 4. 3 Los óxidos de azufre y la salud.....</i>	120
<i>Figura 4. 4 Los óxidos de nitrógeno y la salud.....</i>	124

CAPITULO 5

<i>Figura 5. 1 Correspondiente al día 11 de diciembre del 2012.</i>	129
<i>Figura 5. 2 Correspondiente al día 12 de diciembre del 2012.</i>	130
<i>Figura 5. 3 Correspondiente al día 13 de diciembre del 2012.</i>	131
<i>Figura 5. 4 Correspondiente al día 14 de diciembre del 2012.</i>	132
<i>Figura 5. 5 Correspondiente al día 15 de diciembre del 2012.</i>	133
<i>Figura 5. 6 Correspondiente al día 16 de diciembre del 2012.</i>	134
<i>Figura 5. 7 Correspondiente al día 17 de diciembre del 2012.</i>	135
<i>Figura 5. 8 Correspondiente al día 18 de diciembre del 2012.</i>	136
<i>Figura 5. 9 Correspondiente al día 19 de diciembre del 2012.</i>	137
<i>Figura 5. 10 Correspondiente al resumen diario con diesel comercial.</i>	138
<i>Figura 5. 11 Correspondiente al día 17 de enero del 2013.</i>	140
<i>Figura 5. 12 Correspondiente al día 18 de diciembre del 2013.</i>	141
<i>Figura 5. 13 Correspondiente al día 19 de enero del 2013.</i>	142
<i>Figura 5. 14 Correspondiente al día 23 de enero del 2013.</i>	143
<i>Figura 5. 15 Correspondiente al día 24 de enero del 2013.</i>	144
<i>Figura 5. 16 Correspondiente al día 25 de enero del 2013.</i>	145
<i>Figura 5. 17 Correspondiente al día 26 de enero del 2013.</i>	146
<i>Figura 5. 18 Correspondiente al día 27 de enero del 2013.</i>	147
<i>Figura 5. 19 Correspondiente al día 28 de enero del 2013.</i>	148
<i>Figura 5. 20 Correspondiente al día 29 enero del 2013.</i>	149
<i>Figura 5. 21 Correspondiente al día 01 de febrero del 2013.</i>	150
<i>Figura 5. 22 Correspondiente al resumen diario de funcionamiento con ARF.</i>	151

INDICE DE TABLAS

CAPITULO 1

<i>Tabla 1. 1 Ácidos grasos mono-insaturados</i>	31
<i>Tabla 1. 2 Ácidos grasos poli-insaturados</i>	31
<i>Tabla 1. 3 Normas tanto nacional e internacional que fueron utilizadas para el análisis químico.</i> .	39
<i>Tabla 1. 4 Tomado del informe químico de la ESPOL</i>	41
<i>Tabla 1. 5 Comparación de resultados.</i>	42

CAPITULO 2

<i>Tabla 2. 1 Tabla de unidades de presión comúnmente usadas y sus respectivas equivalencias.</i> .	50
<i>Tabla 2. 2 Datos generales previos al cálculo.</i>	64
<i>Tabla 2. 3 Puntos de inflamación y autoencendido de algunos combustibles.</i>	70
<i>Tabla 2. 4 Resumen de puntos de inflamación y autoencendido referenciales.</i>	71

CAPITULO 3

<i>Tabla 3. 1 Temperatura máxima de los elementos en contacto con el escape</i>	81
<i>Tabla 3. 2 Tabla de porcentajes de aceite residual y diesel con las respectivas adaptaciones realizadas para lograr un funcionamiento estable del motor.</i>	96

CAPITULO 4

<i>Tabla 4. 1 Efectos del monóxido de carbono a diferentes concentraciones.</i>	117
<i>Tabla 4. 2 Efectos del dióxido de azufre a diferentes concentraciones</i>	120
<i>Tabla 4. 3 Efectos del dióxido de nitrógeno a diferentes concentraciones</i>	124
<i>Tabla 4. 4 Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión utilizando Diesel Comercial.</i>	126
<i>Tabla 4. 5 Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión utilizando ARF.</i>	126
<i>Tabla 4. 6 Concentración de Gases de Combustión y Comparación con la Normativa Ambiental Vigente utilizando Diesel Comercial</i>	127
<i>Tabla 4. 7 Concentración de Gases de Combustión y Comparación con la Normativa Ambiental Vigente utilizando ARF</i>	127

CAPITULO 5

<i>Tabla 5. 1 Correspondiente al día 11 de diciembre del 2012.</i>	128
<i>Tabla 5. 2 Correspondiente al día 12 de diciembre del 2012.</i>	129
<i>Tabla 5. 3 Correspondiente al día 13 de diciembre del 2012.</i>	130
<i>Tabla 5. 4 Correspondiente al día 14 de diciembre del 2012.</i>	131
<i>Tabla 5. 5 Correspondiente al día 15 de diciembre del 2012.</i>	132
<i>Tabla 5. 6 Correspondiente al día 16 de diciembre del 2012.</i>	133
<i>Tabla 5. 7 Correspondiente al día 17 de diciembre del 2012.</i>	134
<i>Tabla 5. 8 Correspondiente al día 18 de diciembre del 2012.</i>	135
<i>Tabla 5. 9 Correspondiente al día 19 de diciembre del 2012.</i>	136
<i>Tabla 5. 10 Correspondiente al resumen diario con diesel comercial.</i>	138
<i>Tabla 5. 11 Valores promedio del proceso con diesel comercial.</i>	139
<i>Tabla 5. 12 Correspondiente al día 17 de enero del 2013.</i>	140
<i>Tabla 5. 13 Correspondiente al día 18 de enero del 2013.</i>	141
<i>Tabla 5. 14 Correspondiente al día 19 de enero del 2013.</i>	141
<i>Tabla 5. 15 Correspondiente al día 23 de enero del 2013.</i>	142
<i>Tabla 5. 16 Correspondiente al día 24 de enero del 2013.</i>	143
<i>Tabla 5. 17 Correspondiente al día 25 de enero del 2013.</i>	144
<i>Tabla 5. 18 Correspondiente al día 26 de enero del 2013.</i>	146
<i>Tabla 5. 19 Correspondiente al día 27 de enero del 2013.</i>	147
<i>Tabla 5. 20 Correspondiente al día 28 de enero del 2013.</i>	148
<i>Tabla 5. 21 Correspondiente al día 29 de enero del 2013.</i>	149
<i>Tabla 5. 22 Correspondiente al día 01 de febrero del 2013.</i>	150
<i>Tabla 5. 23 Correspondiente al resumen diario de funcionamiento con ARF.</i>	151
<i>Tabla 5. 24 Valores promedio del proceso con ARF.</i>	151

RESUMEN

Se ha realizado el estudio funcional de un motor de encendido por compresión del generador HDY-2500L, utilizando diésel comercial y aceite residual de frituras (ARF) el cual se obtuvo de una empresa quiteña de comida rápida denominada “Caravana Fast Food”.

Al ARF se le sometió a un tratamiento previo de filtrado para disminuir los residuos del proceso de fritura, para lo cual se diseñó un contenedor cilíndrico el cual posee en su interior una malla de pre-filtrado y en la parte externa una bomba que impulsa al ARF forzándolo a pasar por un filtro automotriz, además se realizó un análisis químico en los laboratorios de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), logrando determinar que es apto para ser usado como combustible alternativo para motores diesel, posteriormente realizamos el estudio termodinámico a través de mediciones de temperatura en diferentes puntos del motor, comparando la eficiencia de ambos mediante una tabla estadística.

Para mejorar la eficiencia del ARF en el motor diesel, se lo somete a un calentamiento previo utilizando los gases de escape, para cual se enrolló una cañería en el tubo de escape, en este caso utilizamos el cobre debido a su alta conductividad térmica, para que el fluido alcance una temperatura de 70 grados Celsius aproximadamente.

Debido a la alta contaminación auditiva provocada por el generador HDY-2500L, trasladamos el proyecto de tesis a la ciudad de Latacunga en una zona aislada, ya que excede el rango permisible en un perímetro urbano alcanzando hasta 110 decibeles en espacio abierto.

Se ejecuta la puesta en marcha del motor utilizando diesel comercial, realizando las mediciones de temperatura pertinentes y cumpliendo con las 100 horas, para realizar el primer análisis de gases en el centro de estudios medioambientales en la Universidad de Cuenca, y posteriormente realizar el desarmado del motor extrayendo la carbonilla resultante del proceso de funcionamiento además de comprobar el estado de los elementos.

Guiándonos con los datos obtenidos en el manual del fabricante se ejecuta el armado del motor con las medidas estándar para continuar con la siguiente etapa del proyecto, que consiste en utilizar el ARF como combustible alternativo aplicando el mismo protocolo que con diesel, se utiliza mezclas volumétricas de diesel / ARF reduciendo gradualmente la concentración de diesel en la mezcla hasta llegar a un 100% de contenido de ARF, debido al incremento frecuente de las temperaturas de trabajo se cumplieron solo con 88 horas de funcionamiento, para posteriormente realizar la medición de gases de escape.

El uso de aceite vegetal en la Ciudad de Cuenca por las grandes franquicias de comida rápida es de 50 galones mensuales por establecimiento, a través de la aplicación de este estudio podemos dar un uso apropiado a estos residuos, determinando los altos beneficios que posee el ARF como combustible alternativo, además la implementación del sistema propuesto en esta tesis, ayudara en la disminución de gases residuales productos de la combustión al medio ambiente, así también libra al mismo del inapropiado manejo de contaminantes líquidos, contribuye también con el ahorro de diesel utilizando el sistema sin mayores modificaciones en el sistema de alimentación.

Al utilizar ARF en un motor de encendido por compresión podemos manejar la energía motriz utilizándola para el transporte de personas y carga, o transformarla en energía eléctrica siendo esta una opción amigable para la conservación del medio ambiente.

Al iniciar este estudio damos paso a futuras investigaciones para el desarrollo de combustibles alternos no derivados del petróleo y provenientes de recursos renovables, ya que la extracción y refinación del crudo en nuestro país causan la destrucción de nuestra magna biodiversidad y el estilo de vida de nuestros nativos, preservando así la riqueza natural de nuestra nación.

CAPÍTULO 1

ESTUDIO DEL MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN Y ANÁLISIS QUÍMICO DE COMPONENTES PRESENTES EN EL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS.

1.1 INTRODUCCION

Hemos considerado pertinente realizar un resumen sobre la vida del creador del motor diesel y podemos destacar que Rudolf Christian Karl Diesel, nació en París Francia en 1858, y falleció en el Canal de la Mancha en 1913 a causa de un accidente en alta mar, fue un ingeniero de nacionalidad alemana que invento el diseño de un motor de cuatro tiempos capaz de desarrollar una potencia de 25 caballos vapor (CV), gracias a su gran desempeño y diseño relativamente sencillo, los motores Diesel se transformaron rápidamente en un éxito comercial a gran escala.¹

Debemos acotar que el término encendido por compresión presente en el título de nuestra tesis es utilizado comúnmente en la literatura técnica para describir a los motores diésel, esto en contraste con el término encendido por chispa para los motores de gasolina típicos de automóviles que funcionan con el ciclo Otto.

Tenemos que aclarar que los motores diesel y los motores de gasolina muestran esencialmente los mismos elementos internos, pero sus principales diferencias radican en: el combustible que utilizan para su funcionamiento, el encendido del combustible y la forma en que este combustible es conducido hasta las cámaras de combustión.

Como los motores diesel soportan mayores relaciones de compresión y fuerzas se construyen con materiales más robustos y de mejor calidad, por otra parte una de sus ventajas es que se pueden fabricar motores diesel desde un solo cilindro

¹ <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/d/diesel.htm>

hasta 24 cilindros, los más comunes en el sector automotriz normalmente poseen 4, 5, 6 u 8. Los motores grandes generalmente se utilizan en V.

1.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DIESEL DE CUATRO TIEMPOS

Empezaremos diciendo que en el motor de encendido por compresión el combustible no se inflama por la chispa de la bujía, como en el motor ciclo Otto, sino más bien al calor generado por la compresión del aire en el interior del cilindro, una vez encendida la mezcla aire-combustible, se forman gases de expansión a alta presión, que obligan el desplazamiento del pistón hacia abajo.

A continuación revisaremos los ciclos de funcionamiento del motor diesel que debe cumplir para su correcto funcionamiento, estos son: admisión, combustión, trabajo y escape.

1.2.1 CICLO DE CUATRO TIEMPOS

Para el correcto desempeño de un motor diesel de cuatro tiempos, se deben cumplir las siguientes fases que describimos a continuación:

- Primer tiempo, *Admisión*, que consiste en permitir el paso de aire al interior del cilindro este aire puede o no estar pre-comprimido (genera una depresión de 50 cm/Hg aproximadamente).
- Segundo tiempo, *Compresión*, el aire aspirado en el tiempo de admisión sufre un aumento de temperatura (aproximadamente 500 hasta 750°C), debido al incremento de presión en el cilindro (entre 30 y 55 bares), y se produce la inyección del combustible en el aire caliente de 21 ± 1 grados antes del PMS.
- Tercer tiempo, *Trabajo*, Este es el único tiempo en el cual se aprovecha para generar trabajo, cuando el combustible entra en contacto con el aire comprimido se calienta y este se inflama, la energía resultante desplaza al pistón hacia el punto muerto inferior. La válvula de escape se abre 55 grados antes del PMI.

- Cuarto tiempo, *Escape*, los gases residuales generados por la combustión son expulsados del cilindro y la válvula de escape se cierra 8 grados después del PMS.²

Los ciclos anteriormente descritos pueden ser apreciados en la *Figura 1.1*.

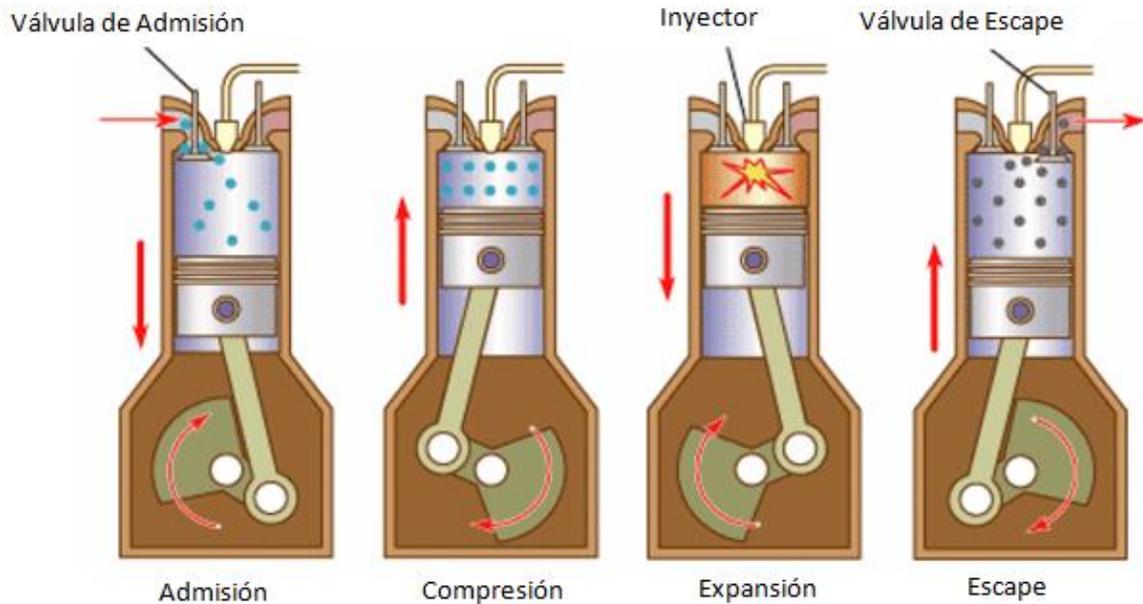


Figura 1.1 Ciclos del motor diesel de cuatro tiempos
 Fuente: <http://contenido-del-blog.blogspot.com/>

1.2.3 APLICACIÓN DE LOS MOTORES DIESEL.

En la industria podemos encontrar distintas aplicaciones para los motores diesel tales como:

- Grupos generadores de energía eléctrica (centrales eléctricas y de emergencia)
- Maquinaria agrícola (tractores, cosechadoras).
- Accionamiento industrial (bombas, compresores, etc., especialmente de emergencia).
- Propulsión ferroviaria.
- Propulsión marina.
- Automóvil y camiones.

² El motor diesel – Ing. Raúl Luna

1.3 GENERADOR ELÉCTRICO

Debido a que en nuestro tema de tesis se involucran generadores eléctricos primeramente vamos a empezar por definir los mismo, conocemos como generador eléctrico a todo elemento capaz de conservar una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus polos, convirtiendo la energía mecánica en eléctrica, debido a la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre el estator.

En la *Figura 1.2* podremos apreciar el generador en donde realizamos las pruebas de funcionamiento con el combustible alterno.



Figura 1. 2 Generador BOTON HDY2500L

Fuente: Autores

1.3.1 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL GENERADOR ELECTRICO

Se basa en una espira que rota entorno a su eje dentro de un campo magnético. Un claro ejemplo son las hidroeléctricas, el agua almacenada se transforma en energía eléctrica, por la rotación de una turbina accionada por el descenso de agua.

Cada uno de los extremos del espiral estará unido a un anillo ensamblado con el eje, y las escobillas que recogen la corriente inducida estarán conectadas a cada

anillo. Ahora realizaremos así una vuelta completa del espiral para comprobar la fuerza electromotriz inducida que se crea.³

- **Posición 1:** Cuando la espira se encuentra en la posición inicial la fuerza electromotriz es cero como se aprecia en la *Figura 1.3*.

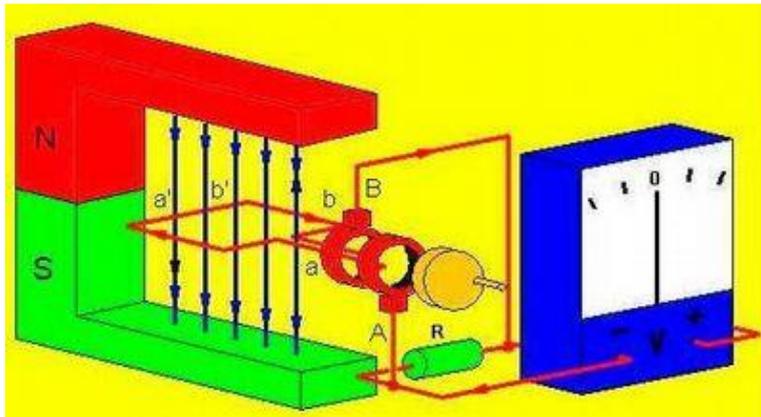


Figura 1. 3 Posición 1.

- **Posición 2:** Al rotar 90° en sentido anti-horario, la fuerza electromotriz inducida será máxima. La corriente inducida es aquí positiva en tramo a-a' y negativo en el tramo b-b'. El tramo a-a' está en contacto con el anillo A y el b-b' con el anillo B. El primero almacena una corriente inducida positiva y el segundo caso, una corriente inducida negativa *Figura 1.4*.

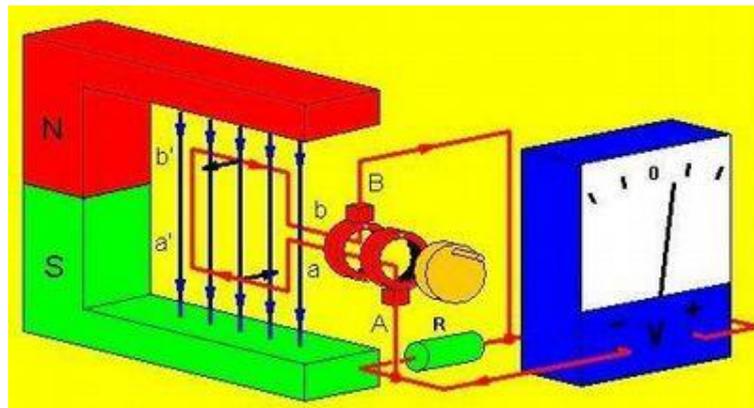


Figura 1. 4 Posición 2.

³ <http://motoreselectricosceytej.blogspot.com/>

- **Posición 3:** Si rotamos 90° más la fuerza electromotriz inducida será de nuevo nula y no habrá corriente inducida *Figura 1.5*.

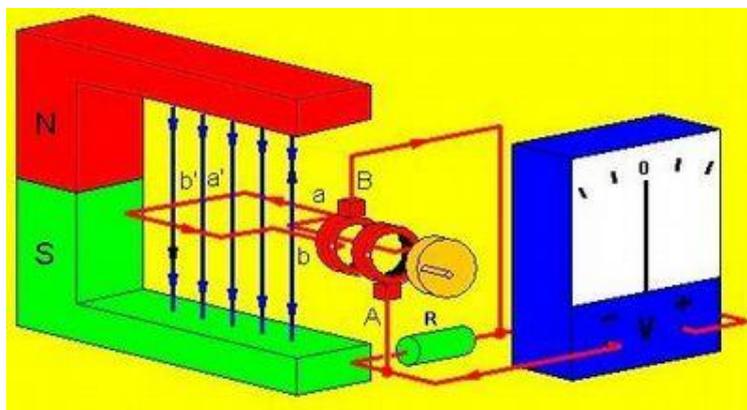


Figura 1. 5 Posición 3.

- **Posición 4:** Si rotamos 90° estaremos al lado opuesto de la posición 2 y la fuerza electromotriz inducida será máxima. Ahora el tramo a-a' será negativo y el b-b' positivo *Figura 1.6*. Se debe prestar atención que se han intercambiado las corrientes que circulan por el anillo A y B respecto a la posición 2.

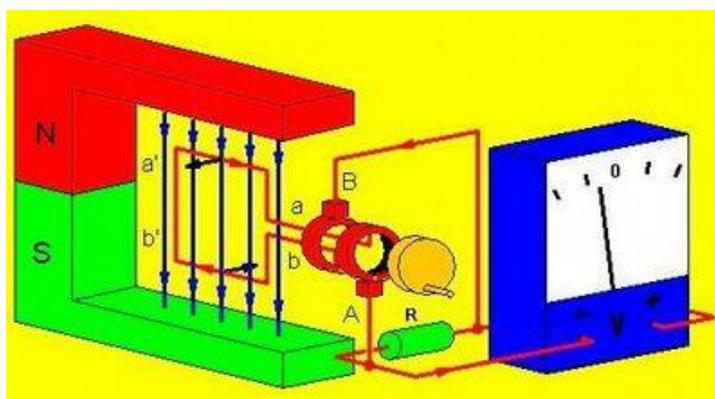


Figura 1. 6 Posición 4.

Si rotamos 90° más, la espiral realizaría la vuelta entera. Al término de una vuelta hemos logrado una corriente alterna. Durante una media vuelta el signo recogido por un anillo es de signo positivo y luego negativo. Por eso se denomina precisamente corriente alterna, ya que, el signo de estas corrientes va alternando de forma cíclica.

1.3.2 EXCITATRIZ

Para alimentar los electroimanes que forman el sistema inductor, los alternadores necesitan una fuente de corriente continua, por eso, en el interior del rotor se incorpora la excitatriz⁴. Así, la excitatriz es la máquina encargada de subministrar la corriente de excitación a las bobinas del estator, parte donde se genera el campo magnético.

1.4 ACEITES Y GRASAS

Debido a la importancia química que tiene el aceite comestible en nuestra tesis vamos a empezar por definir algunas de sus propiedades básicas como son:

1.4.1 PROPIEDADES FÍSICAS

Algunas de las más relevantes son:

- Punto de fusión: esta determinación hace referencia las grasas animales y transformadas, y en muy pocas ocasiones a los aceites vegetales, en los cuales la mayoría son líquidos a temperatura ambiente⁵. El punto de fusión de cualquier grasa o lípido es menor cuando hay más AG de cadena corta, cuando conformemente va aumentando el grado de insaturación. Además los hidrógenos (H) más próximos a los dobles enlaces son más propensos a reaccionar químicamente que los hidrógenos (H) de enlaces saturados, por tanto los insaturados con más facilidad llegan a ser alterados.
- Calor específico: esta tiende a aumentar dependiendo de la insaturación de los AG, los valores se duplican en las líquidas en comparación con las sólidas.
- Viscosidad: está depende de las dimensiones de la molécula y la orientación de la misma. Aumenta con el incremento de la extensión de la cadena de los AG y al aumentar la insaturación esta disminuye. *Figura 1.7*
- Densidad: (en densidad relativa) de 0,914 a 0,919 para los aceites de oliva y orujo. Para el resto no existe una especificación en la normativa.

⁴ IDEM: Referencia 3

⁵ <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/mangeles-aylon-blog.pdf>

- Título: es la “dureza” de la grasa, inferior a 40: es la temperatura en la cual hay una especie de cristalización o endurecimiento después de haberlo saponificado y enfriado lentamente, si esta es aún mayor, se lo considera sebo.
- Índice de refracción: esta se incrementa con la longitud de la cadena y con la insaturación. Está ligado fuertemente con el índice de iodo, el mismo que permite saber el nivel de insaturación de los elementos moleculares, siendo muy útil para controlar los procesos de hidrogenación.
- Prueba del frío: negativa en los aceites o grasas sometidos a tratamientos de winterización.
- Polimorfismo: este fenómeno es asociado a la cristalización de ciertos triglicéridos en distintos sistemas y útil en la producción de shortenings, margarinas y grasas para repostería.



Figura 1. 7 Viscosidad del aceite.

Fuente: <http://motorgiga.com/viscosidad/gmx-tag9048.htm>

1.4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Son lípidos simples constituidos por ésteres de ácidos grasos con glicerol, a diferencia de los compuestos con funciones químicas diferentes. Hay otros derivados de lípidos sencillos o compuestos que conservan las propiedades del grupo: ácidos grasos, cadenas largas de alcoholes, esteroides, y los hidrocarburos.

En general, el término GRASA contiene a todo el grupo de los triglicéridos, relacionándose con los productos lipídicos de origen animal y otros de origen vegetal llamados minoritarios, mientras que el término ACEITE hace referencia a los lípidos de origen vegetal, sin importar si estos se encuentran en estado líquido

o en sólido *Figura 1.8*, los mismos variarán según la temperatura ambiental o su punto de fusión.

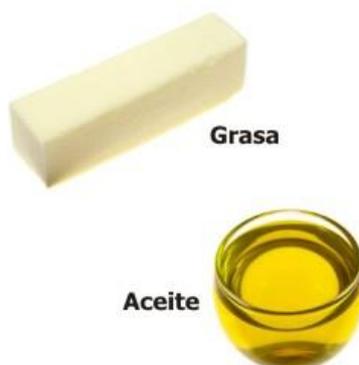


Figura 1. 8 Diferencia entre grasa y aceite.

Fuente: <http://www.cuidadodelasalud.com/alimentos-nutritivos/en-que-se-diferencian-los-aceites-de-las-grasas/>

1.4.3 GRASAS Y ACEITES EN TÉRMINOS QUÍMICOS

Las grasas y los lípidos son sustancias no solubles en agua *Figura 1.9* que pueden presentar una consistencia líquida o sólida. Los aceites son aquellas grasas que mantienen su estado líquido aun estando por debajo de los 20 °C.

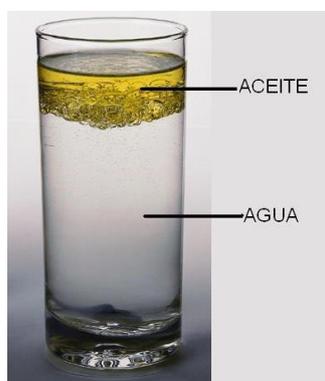


Figura 1. 9 Insolubles en agua

Fuente: <http://nl-cienciasfsicas.blogspot.com/2010/10/sistema-homogeneo-y-heterogeneo.html>

1.4.3.1 Triglicéridos: Posee una misma disposición para todas las grasas, pueden ser de origen animal, vegetal, líquido o sólido. La molécula de la grasa está compuesto de un glicerol (alcohol) y tres ácidos grasos (cadenas de hidrocarbonos) fusionados a la molécula del glicérido, esta unión se conoce como triglicérido.

1.4.3.2 Ácidos grasos

- Ácidos grasos: cadenas de átomos de carbono (C) a los que se unen átomos de hidrógeno (H).
- Ácidos grasos naturales: cadenas de átomos de carbono C-C.

Se clasifican según:

- ✓ La longitud de su cadena (corta, media o larga)
 - ✓ Grado de saturación (saturados o insaturados)
 - ✓ La posición de los dobles enlaces.
- Ácidos grasos saturados: Nos referimos a “saturados” cuando el número máximo de átomos de hidrógeno puede llegar a ser contenido por las cadenas de carbono que están unidos a dichas cadenas. Los ácidos grasos saturados se almacenan durante grandes periodos y aguantan temperaturas muy elevadas, es decir, llegan a ser muy estables. Las grasas con un número exaltado de ácidos grasos saturados son de consistencia sólida a temperatura ambiente. Debido a su reactividad inerte, las grasas con un gran contenido en ácidos grasos saturados son excelentes para la elaboración de frituras.

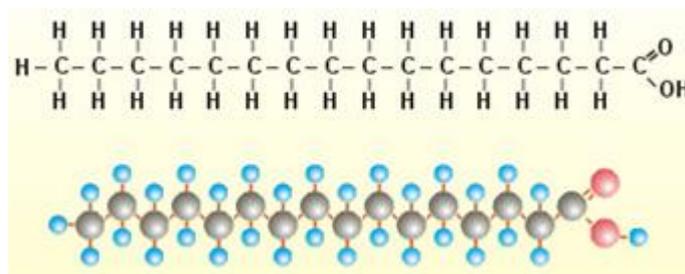


Figura 1. 10 Estructura de un ácido graso saturado.

Fuente:<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/contenidos9.htm>

- Ácidos grasos insaturados: Se clasifican en ácidos grasos mono-insaturados y poli-insaturados. *Tabla 1.1 y Tabla 1.2.*

Tabla 1. 1 Ácidos grasos mono-insaturados

El ácido graso mono-insaturado más común es el ácido oleico. Este proviene del ácido esteárico y también está formado por 18 átomos de carbono.	2 átomos de hidrógeno menos.
	Los dos brazos libres se unen y forman un segundo enlace conocido como "doble enlace", entre dos átomos de carbono.

Tabla 1. 2 Ácidos grasos poli-insaturados

Fuente: Tabla 1.1 y 1.2 Autores

Un ácido graso poli-insaturado es el ácido linoleico con 18 átomos de carbono y dos enlaces dobles.	Varios átomos de hidrógeno menos.
	Mayor número de dobles enlaces implican ácidos grasos más insaturados y reactivos.

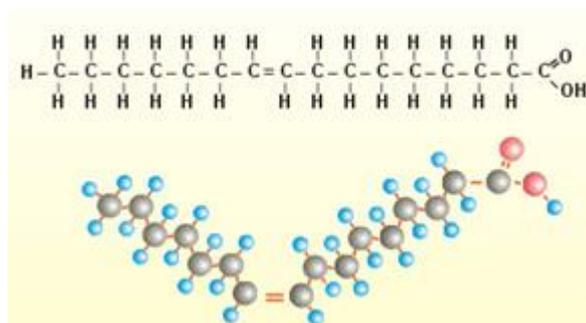


Figura 1. 11 Estructura de un ácido graso insaturado.

Fuente:<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/contenidos9.htm>

Los aceites vegetales como el aceite de girasol son ricos en ácidos grasos insaturados. Entre más larga y más enlaces dobles posea la cadena, la grasa se logrará fusionar a una menor temperatura. Las grasas con altas proporciones de ácidos grasos mono-insaturados y poli-insaturados no son adecuadas para la preparación de frituras ya que estos están expuestas a un envejecimiento más rápido que la de los ácidos grasos saturados.

Si se desea favorecer a la salud es recomendable el uso de grasas con la mayor proporción permisible de ácidos grasos insaturados. Las grasas de cocinar de hoy

tienen un porcentaje superior de ácidos grasos beneficiosos y se han modificado de tal forma que se conservan estables las altas temperaturas.

- Ácidos grasos trans: Se refieren a los ácidos grasos insaturados los cuales en sus enlaces dobles poseen una estructura especial llamada forma trans, en oposición a forma cis, siendo estas las dos formas moleculares más frecuentes en las grasas y se encuentran principalmente en las grasas nutricionales de origen animal.

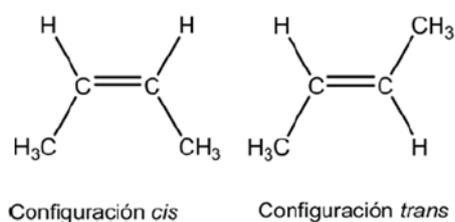


Figura 1. 12 Configuraciones comunes presentes en todos los aceites comestibles.
Fuente: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0798-02642008000100005&script=sci_arttext&tlng=en

1.4.4 REACCIONES DE LAS GRASAS

Básicamente se dan tres reacciones:

1.4.4.1 Oxidación: La oxidación es el máximo motivo del envejecimiento de la grasa cuando el mismo se contacta con el oxígeno del aire. Esto sucede antes de que la grasa suba de temperatura o se caliente. Por cada incremento de 10°C de temperatura, se duplica el nivel de oxidación. Aparte de la temperatura, la luz solar con sus rayos ultravioletas forma unas condiciones favorables para acelerar el fenómeno de la oxidación. Las grasas son sustancias orgánicas que son afectadas por la oxidación, de hecho entre más dobles enlaces posean los ácidos grasos con más facilidad se oxidaran. El aceite virgen tiene una estabilidad de seis meses a temperatura ambiente gracias a su elevado número de ácidos grasos insaturados.

Durante el proceso de fritura el agua de la misma se evapora y se forma un revestimiento que evita que la grasa penetre excesivamente en el alimento, posteriormente la mayor parte del agua se ha evaporado y se detiene el proceso

de enfriado en el revestimiento, a continuación se inicia el proceso de oscurecimiento del alimento frito como resultado de la alza de la temperatura.



Figura 1. 13 Aceite oxidado luego de ser sometido a altas temperaturas.
 Fuente: <http://www.aceiteoliva.info/tag/evitar-oxidacion-aceite/>

1.4.4.2 Polimerización: Se trata de una reacción química de los ácidos grasos insaturados que están en el aceite de cocinar, o sea, que reaccionan para formar primeramente dímeros (dos moléculas grasas conectadas) y luego los polímeros (múltiples moléculas conectadas) y finalmente triglicéridos. Después de la polimerización, se disminuye la cantidad de sustancias volátiles en la superficie de la grasa, de tal forma que las grasas más utilizadas forman menos cantidad de humos, a diferencia del cambio de color, las grasas de cocinar con una mayor proporción de polímeros se caracterizan por la formación de una fina capa de espuma.

1.4.4.3 Hidrólisis: La hidrólisis originariamente está provocada por la obtención de agua del producto que se fríe y se mantiene, la permeabilidad del agua puede proporcionar efectos favorables en las grasas, es decir, al evaporarse el contenido en agua a través de las grasas de cocinar suelta mono-glicéridos, di-glicéridos y ácidos grasos libres.



Figura 1. 14 En presencia de humedad, el aceite se reparte químicamente y forma ácidos orgánicos.
 Fuente: <http://www.carly-sa.es/-El-consejo-de-FROZY-.html>

1.4.5 QUÍMICA DEL PROCESADO DE LAS GRASAS Y LOS ACEITES

1.4.5.1 *Fabricación y purificación de aceite*

La producción de aceite es una actividad que encierra una extensa tradición, los aceites son usados en varios aspectos como la medicina, los combustibles, la nutrición y la cosmética. El aceite es extraído de las semillas oleaginosas, como habas de soja, semillas de girasol o frutos oleaginosos como las olivas⁶. Existen dos procesos para la recolección de aceite: la molturación y la extracción, aunque en un gran porcentaje de los casos ambos procesos son combinados para conseguir el máximo rendimiento.



Figura 1. 15 Materia prima para la elaboración de aceite vegetal.

Fuente: http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_aceites_grasas_frituras_fritos.asp

1.4.5.2 *Proceso de elaboración de aceite:*

- Lavado y des-cascaración de la semilla (para extracción del aceite).
- Calentamiento de los frutos o semillas a 38 °C, removiéndolo para conseguir no quemarlos, el contenido del aceite se disuelve y facilita la extracción.
- Proceso de prensado: es elaborada la pasta de la que surgirá el aceite por medio de la molturación y trituración.
- Liberar el aceite de la pasta utilizando un movimiento rotativo del prensado.

⁶ http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_aceites_grasas_frituras_fritos.asp

- Utilizando disolvente, habitualmente hexano, se libera el resto del aceite y se sacan los contenidos liposolubles útiles de la semilla.
- Purificación o refinado del aceite; se sacan del aceite las sustancias en estado sólido o sabores no deseables a temperaturas menores a 200 °C, de tal forma se aumenta la durabilidad y calidad del aceite. Los ingredientes más usados como ácidos grasos no saturados o vitamina E, no se suprimen durante el refinado.

1.4.5.3 Refinado.

Los aceites crudos y las grasas poseen cantidades variables de sustancias que consiguen aportar aromas, colores o cualidades indeseables⁷. Entre estos están los ácidos grasos libres, los fosfolípidos, carbohidratos, las proteínas y sus productos de degradación, el agua, los pigmentos (especialmente los carotenos y la clorofila), y los productos de oxidación de las grasas. Los aceites crudos se someten pues a pasos comerciales de refinado diseñados para suprimir estas sustancias.



Figura 1. 16 Por este proceso se obtiene el esclarecimiento del aceite.
Fuente: <http://www.contigosalud.com/cual-es-el-mejor-aceite-para-cocinar>

1.4.5.4 Sedimentación y desgomado

En la sedimentación se le aumenta la temperatura de la grasa y se deja en reposo hasta que se aparta de la fase acuosa y se lo consigue extraer. Este proceso rescata la grasa del fosfolípidos, materiales proteicos, agua y carbohidratos⁸. En

⁷ Tomado del libro "química de los alimentos" 2da edición. Por Owen R. Fennema, Steven R. Tannenbaum

⁸ IDEM : Referencia 7

otros casos, exclusivamente en los aceites que poseen cantidades importantes de fosfolípidos (el aceite de soja), se emplea un procedimiento preliminar conocido como “desgomado”, añadiendo un 2 – 3% de agua, agitando la composición a unos 50 °C y separando después los fosfolípidos hidratados por sedimentación.



Figura 1. 17 Se muestra la sedimentación del aceite.

Fuente: <http://comohaceraceite.blogspot.com/2011/02/sedimentacion-natural.html>

1.4.5.5 Neutralización

Para suprimir los ácidos grasos libres, se mezcla sosa cáustica en cantidad y concentración adecuadas con la grasa caliente y se deja a la composición reposar hasta que asiente la fase acuosa. La solución acuosa consiguiente, se aparta y se usa para realizar jabón. El jabón residual se suprime del aceite neutralizado por lavado con agua caliente seguido de sedimentación o centrifugación. Aunque el propósito del método con álcalis es suprimir de los ácidos grasos libres, este proceso puede permitir también a una disminución significativa del contenido de fosfolípidos y de la materia coloreada.



Figura 1. 18 El aceite neutralizado se ubica en la parte superior

Fuente: <http://www.estudiaronline.org/blog/tag/la-hidrolisis/>

1.4.5.6 Blanqueado

La eliminación casi total de los colorantes logra llevarse a cabo aumentando la temperatura del aceite a unos 85 °C y tratándolo con absorbentes, como la tierra de diatomeas o el carbón activo. Conviene tomar precauciones para impedir la oxidación conforme avanza el proceso de blanqueado⁹. Además junto con los pigmentos se adsorben otros materiales, tales como los fosfolípidos, los jabones y algún otro producto de oxidación. La tierra utilizada para el blanqueado se suprime mediante filtración.



*Figura 1. 19 Aceite filtrado luego del proceso de blanqueado.
Fuente: <http://www.co.all.biz/aceite-de-palmiste-g9081>*

1.4.5.7 Desodorización

Los compuestos volátiles con aromas indeseables, originarios en su gran porcentaje de la oxidación del aceite, se suprimen por destilación en corriente de vapor a presión reducida. Habitualmente se agrega ácido cítrico para secuestrar las trazas de metales pro-oxidantes vigentes. Este procedimiento también da lugar a la decadencia térmica de ciertas sustancias no volátiles de aroma desagradable, y los compuestos volátiles provenientes son entonces destilados.

Sin embargo la estabilidad de los aceites frente a la oxidación se perfecciona habitualmente con el proceso de refinado, no siempre ocurre así.

⁹ IDEM : Referencia 7



*Figura 1. 20 Aceite desodorizado, eliminación de aromas no deseables.
Fuente: <http://www.reficesur.com/proceso-de-elaboracion-de-aceite.php>*

1.4.6 HIDROGENACIÓN

La hidrogenación de las grasas se fundamenta en agregar hidrógeno a los dobles enlaces de las cadenas de los ácidos grasos de los triacilgliceroles¹⁰. El proceso es de total importancia en la industria de las grasas y los aceites, puesto que obtiene dos objetivos importantes; en primer lugar permite la alteración de los aceites líquidos en grasas semisólidas o estructuras más preparadas para aplicaciones específicas, como las margarinas, y en segundo, perfecciona la estabilidad del aceite con respecto a la oxidación.

En la vida práctica, el aceite se revuelve con un catalizador apropiado (usualmente níquel), se calienta a una temperatura requerida, aproximadamente de 140 a 225 °C, se provee al hidrógeno a una presión de 60 psi y se agita. La agitación ayuda a disolver el hidrógeno, al adquirir una mezcla uniforme entre el catalizador y el aceite, y a disipar el calor de reacción. El aceite de partida debe ser refinado, blanqueado, con un comprendido minúsculo en jabón, y seco y por otra parte el hidrógeno debe estar seco y no poseer azufre, CO₂ o amoníaco. Cuando se ha conseguido el punto deseado, el aceite hidrogenado se enfría y el catalizador se suprime por filtración.

1.4.7 INTERESTERIFICACIÓN

Las grasas naturales no poseen sus ácidos grasos distribuidos al azar entre las moléculas de glicérido. La predisposición de algunos ácidos a estar más concentrados en ubicación es en determinadas variando de unas especies con

¹⁰ IDEM : Referencia 7

otras y depende de diferentes agentes como el medio ambiente y la disposición en el animal o en la planta. Las particularidades físicas de una grasa son perjudicadas en gran porcentaje no solamente por la naturaleza de los ácidos grasos como su longitud de cadena e insaturación que los constituyen, pues también por su distribución en las moléculas de triacilglicerol. Indiscutiblemente, la secuencia de distribución original de los ácidos grasos de ciertas grasas naturales restringe sus aplicaciones industriales.¹¹ La interesterificación es uno de los procesos que se emplean para optimizar la consistencia y utilidad de tales grasas, e involucra la redistribución al azar de los ácidos grasos entre las moléculas de triacilglicerol de la grasa.

1.4.8 ANÁLISIS QUÍMICO DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS

Para este proceso utilizamos las instalaciones del departamento de ciencias químicas y ambientales (ICQM) de la Escuela Politécnica del Litoral (ESPOL), para obtener los datos numéricos de las características de nuestro aceite residual de frituras y así poder determinar mediante las respectivas comparaciones si dicho aceite está apto para ser utilizado como combustible alternativo dentro del motor de encendido por compresión. Las normas nacionales e internacionales que fueron utilizadas en el análisis químico del ARF se detallan a continuación:

Tabla 1. 3 Normas tanto nacional e internacional que fueron utilizadas para el análisis químico.

Fuente: <http://apps.inen.gob.ec/normas/CatalogoNumerico.php>

<https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/astm.d1298.1999.pdf>

NORMA	TÍTULO	RESUMEN
ASTM D1298	Productos de petróleo. Determinación de la densidad en combustibles líquidos, método del densímetro.	Este método de ensayo de laboratorio se determina utilizando un hidrómetro de cristal de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) o gravedad API de productos de petróleo crudo o mezclas de productos derivados del petróleo y no derivadas del petróleo normalmente manejados como líquidos y que tienen una presión de vapor Reid de 101325 kPa o menos.

¹¹ IDEM : Referencia 7

ASTM D92	Productos de petróleo. Determinación de los puntos de inflamación y combustión, en vaso abierto.	Este método es aplicable a cualquier producto petrolífero, excepto fuel-oils y aquellos que tengan un punto de inflamación, en vaso abierto, inferior a 79 °C mediante el equipo Cleveland o Pensky - Martens modificado.
INEN 1494	Productos de petróleo. Determinación de agua y sedimento por centrifugación	Esta norma establece el método para la determinación de agua y sedimento en petróleo crudo, diesel y aceites combustible
INEN 1491	Productos de petróleo. Determinación del residuo de carbón (Conradson)	Esta norma establece el método para determinar la cantidad de residuo carbonoso que dejan los productos de petróleo cuando se ensayan bajo condiciones normalizadas.
INEN 1492	Productos de petróleo. Determinación de cenizas	Establece el método para la determinación de las cenizas en los productos de petróleo que no contienen aditivos ni ciertos compuestos fosfóricos.
INEN 810	Productos de petróleo. Determinación de la viscosidad cinemática y dinámica en líquidos transparentes y opacos	Esta norma establece el método para la determinación de la viscosidad cinemática de los productos líquidos de petróleo, tanto transparente como opaca.
INEN 927	Productos de petróleo. Determinación de la corrosión sobre la lámina de cobre	Esta norma establece el método para determinar la corrosión sobre la lámina de cobre, producida por: gasolina de aviación, combustible para turbinas de aviación, gasolina para motores de combustión interna, gasolina natural, kerosene, diesel, aceites combustibles destilados, aceites lubricantes, solventes y otros productos derivados del petróleo, con excepción de

		ciertos productos, como aceites aislantes eléctricos y grasas.
INEN 1495	Productos de petróleo. Determinación del índice de cetano calculado	Esta norma establece el método para determinar el índice de cetano calculado, como alternativa al método con motor analizador para índice de cetano
INEN 926	Productos de petróleo. Ensayo de destilación	Esta norma establece el método para la destilación de productos de petróleo como: gasolina, combustible para turbinas de aviación, kerosene, diesel, petróleo, combustible y otros productos derivados con excepción de gasolina natural y gas licuado de petróleo

A continuación presentamos una tabla donde se muestran los valores que nos entregó el laboratorio químico de la ESPOL de la ciudad de Guayaquil y los valores mínimos y máximos que indican las normas para considerar a un fluido lo suficientemente apto para ser utilizado como combustible dentro de un motor de combustión interna, de la misma forma mostraremos un análisis de los resultados debido a su comparación.

Tabla 1. 4 Tomado del informe químico de la ESPOL.

Fuente: Autores

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	RANGO	MÉTODO DE ANÁLISIS
Gravedad específica 60/60OF	---	0.9200	0.600 a 1.100	ASTM D1298
Punto de inflamación	°C	213	Mín. 51	ASTM D92
Agua y sedimentos	(%)V	0.05	Máx. 0.05	INEN 1484
Carbón residual	(%)P	17.3	Máx. 0.15	INEN 1491
Cenizas	(%)P	0.15	Máx. 0.01	INEN 1492

Viscosidad cinemática a 40 °C	CSt	36.6	2.5 a 6	INEN 810
Corrosión a la lámina de cobre	Nº	1b	Máx. No 3	INEN 927
Índice de cetano	----	38	Mín. 45	INEN 1495
Destilación ASTM al 90%	°C	350	Máx. 360	INEN 926

Tabla 1. 5 Comparación de resultados.

Fuente: Autores

PARÁMETRO	APROBACIÓN
Gravedad específica 60/60OF	SI
Punto de inflamación	SI
Agua y sedimentos	SI
Carbón residual	NO
Cenizas	NO
Viscosidad cinemática a 40 OC	NO
Corrosión a la lámina de cobre	SI
Índice de cetano	NO
Destilación ASTM al 90%	SI

Observación general

La muestra de aceite residual de frituras cumple con 4 de los 9 parámetros que se requieren para que un fluido pueda ser utilizado como combustible alternativo de un motor de combustión interna, es decir cumple con un 44.44% de las características mencionadas, no obstante, si observamos detalladamente los parámetros que no son cumplidos, estos a pesar de no estar dentro del rango sobrepasan los mismos de una forma muy excesiva, por lo tanto son estos los puntos en los que nos debemos fijar para poder dar soluciones a los problemas que estos defectos nos provocan para el buen funcionamiento del generador eléctrico diesel, a continuación mostramos una imagen de los resultados originales entregados por el laboratorio químico de la ESPOL.



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas
Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales



(RG_5-10)

Solicitante: **Oscar Montesdeoca P.**
Certificado de Análisis N°: 006-2013
Fecha de recepción de muestra(s): 11 de enero de 2013
Fecha de entrega de resultados: 21 de enero de 2013

Parámetro	Unidad	Resultado	Método de Análisis
Gravedad específica 60/60°F	---	0.9200	ASTM D1298
Punto de inflamación	°C	213	ASTM D92
Agua y sedimentos	(%) _v	0.05	INEN1484
Carbón residual	(%) _p	17.3	INEN1491
Cenizas	(%) _p	0.15	INEN1492
Viscosidad Cinemática a 40 °C	cSt	36.6	INEN 810
Corrosión a la lámina de cobre	N°	1b	INEN 927
Índice de Cetano	---	38	INEN1495
Destilación ASTM al 90%	°C	350	INEN926

Observaciones: Muestra(s) entregada(s) e ingresada(s) por el cliente como:
“Aceite comestible residual (usado)”

Dr. David Matamoros C.
Director Departamento de
Ciencias Químicas y Ambientales

LCC/.

Notas: Este informe es válido solo con el sello de seguridad de alto relieve y no podrá ser reproducido de forma parcial o total.
Los resultados obtenidos corresponden solo a la muestra analizada.
Las cifras luego del punto (.) deben ser consideradas como decimales.
Las cifras luego de la coma (,) deben ser consideradas como enteros.

Guayaquil – Campus Gustavo Galindo, km 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863
Teléfonos: 2269559 – 2269552 Fax: 2853368 Página web: www.quimica.espol.edu.ec

CAPITULO 2

ESTUDIO TERMODINÁMICO DE LOS MOTORES DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN UTILIZANDO DIÉSEL COMERCIAL Y ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS

2.1 INTRODUCCION

En el presente capítulo analizaremos los principios termodinámicos que utilizamos en nuestra tesis, para el cálculo de eficiencia, rendimiento, potencia, etc. La termodinámica se puede definir como la ciencia de la energía¹². El término termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), lo cual corresponde al estudio de los vínculos existentes entre el calor y otros tipos de energía, sus transformaciones, la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia.

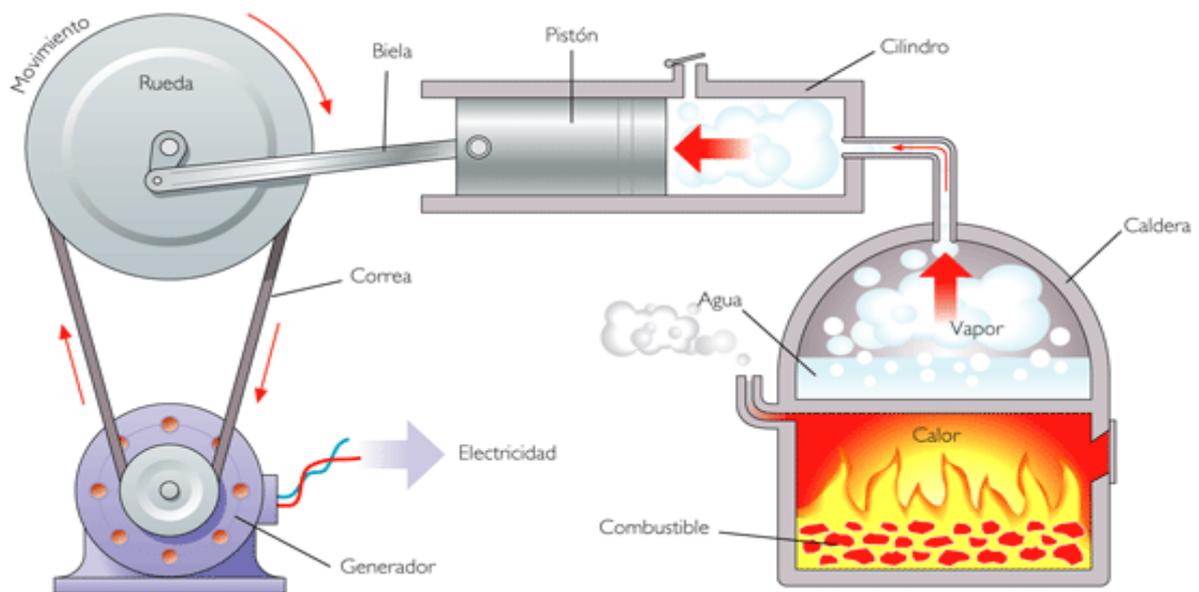


Figura 2. 1 Aplicación de la termodinámica.

Fuente:<http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/ingenieria/media/200708/22/tecnologia/20070822kl>

pingtcn_28.Ees.SCO.png

¹² CENGEL Yunus, Termodinámica, 5ta. Edición, Editorial Mc Graw Hill

*Desde la perspectiva estadística, la temperatura representa una medida de la energía cinética media de las moléculas de un sistema. El incremento de la temperatura refleja un aumento en la intensidad del movimiento molecular.*¹³

Cuando dos sistemas están en contacto, se transfiere energía entre sus moléculas como resultado de las colisiones. Esta transferencia continúa hasta que se alcance la uniformidad en sentido estadístico, que corresponde al equilibrio térmico.

La ley de conservación de la energía se transforma en el primer principio de la termodinámica y afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema físico aislado (sin interacción con ningún otro sistema) permanece invariable con el tiempo, aunque dicha energía puede transformarse en otra forma de energía. En resumen, la ley de la conservación de la energía afirma que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo se puede cambiar de una forma a otra.

2.2 CALOR

El calor es una forma de energía que los cuerpos almacenan (energía interna) que ocurre en función del estado de vibración de sus moléculas y depende de su estructura. Se le considera también como transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura por lo tanto el calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura, con lo que eleva la temperatura de la segunda y reduce la de la primera, siempre que el volumen de los cuerpos se mantenga constante (*Figura 2.2*).

¹³ IDEM: Referencia 12

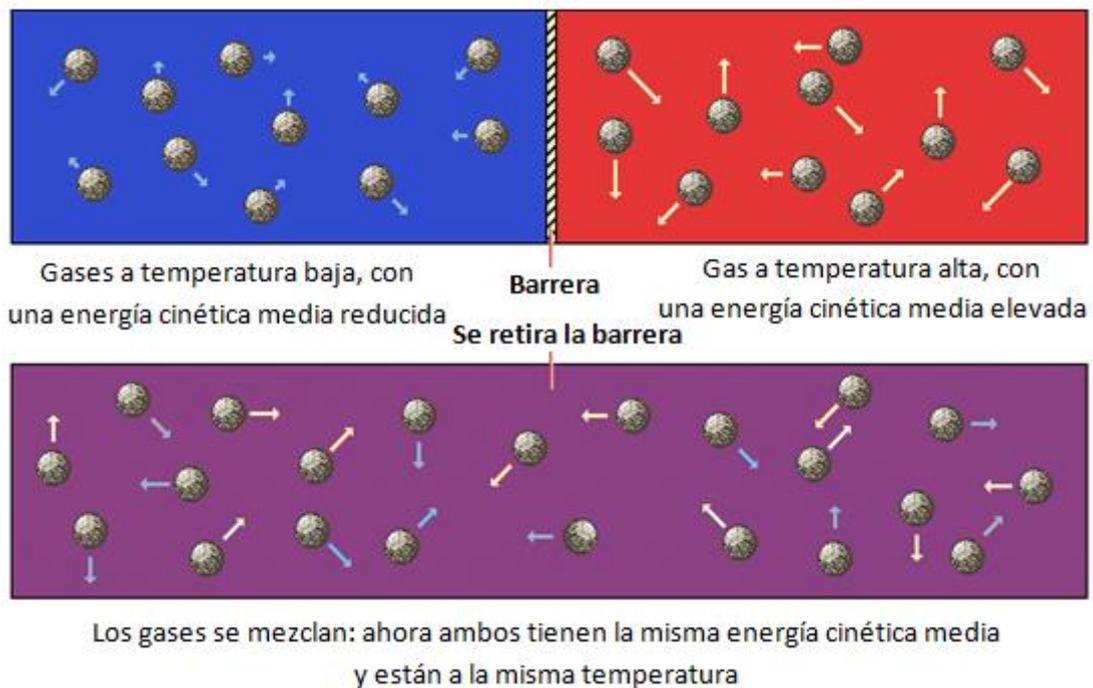


Figura 2. 2 Descripción gráfica en el que dos sistemas a diferente temperatura se equilibran.
 Fuente: www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/energia/principios_termodinamicos.doc

2.2.1. CALOR ESPECÍFICO

El calor específico es la cantidad de calor necesaria para aumentar en un grado la temperatura de una unidad de masa de una sustancia¹⁴.

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c \, dT$$

Dónde:

- Q es el calor aportado al sistema.
- m es la masa del sistema.
- c es el calor específico del sistema.
- ΔT es el incremento de temperatura que experimenta el sistema.

Las unidades más habituales de calor específico son $\text{J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$ y $\text{cal} / (\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$.

¹⁴ IDEM: Referencia 12

El calor específico de un material depende de su temperatura; no obstante, en muchos procesos termodinámicos su variación es tan pequeña que puede considerarse que el calor específico es constante. Asimismo, también se diferencia del proceso que se lleve a cabo, distinguiéndose especialmente el "calor específico a presión constante" (en un proceso isobárico) y "calor específico a volumen constante" (en un proceso isocórico).

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

2.3 SISTEMAS Y VOLÚMENES DE CONTROL

Un sistema se define como una cantidad de materia o una región del espacio elegida para el análisis. La masa o región fuera del sistema se conoce como alrededores. La superficie real o imaginaria que separa al sistema de sus alrededores se llama frontera. Estos términos están ilustrados en la *Figura 2.3*.

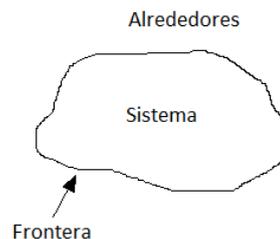


Figura 2. 3 Esquematación de sistema, alrededores y frontera.

Fuente: Autores

Se debe tener en cuenta que la frontera es la superficie de contacto que comparten sistema y alrededores. En términos matemáticos la frontera tiene espesor cero y por lo tanto no puede contener ninguna masa ni ocupar un volumen en el espacio. Los sistemas se pueden considerar cerrados o abiertos, dependiendo de si se elige para estudio una masa fija o un volumen fijo en el espacio. Un sistema cerrado (conocido también como masa de control) consta de una cantidad fija de masa y ninguna otra puede cruzar su frontera. Es decir, ninguna masa puede entrar o salir de un sistema cerrado. Pero la energía, en forma de calor o trabajo puede cruzar la frontera; y el volumen de un sistema cerrado no tiene que ser fijo (*Figura 2.4*). Si, como caso especial, se prohíbe que la energía cruce la frontera entonces estaremos tratando con un sistema aislado.

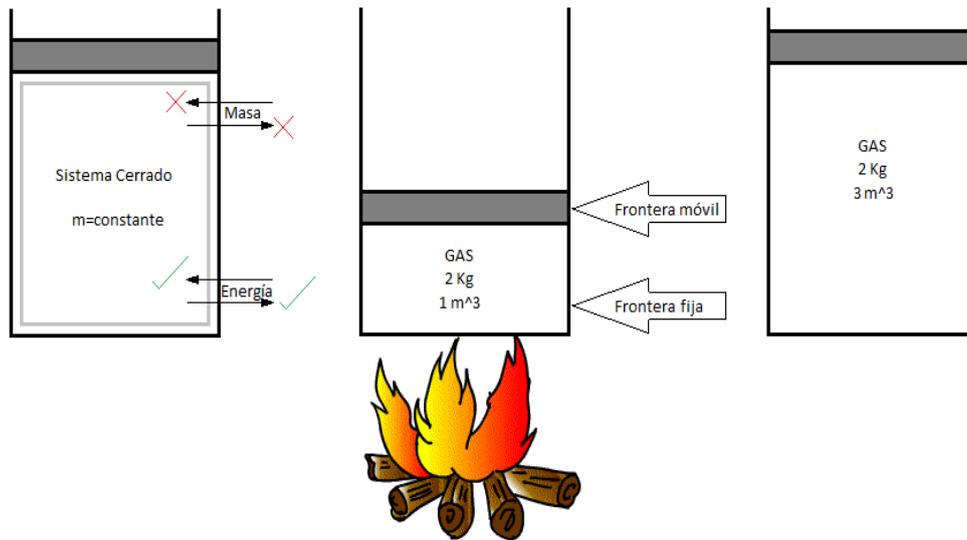


Figura 2. 4 Ilustración de sistema cerrado.
Fuente: Autores

Un sistema abierto o volumen de control, es una región elegida apropiadamente en el espacio que generalmente se trata de un dispositivo que tiene que ver con flujo másico, como un compresor, motor, turbina o tobera. El flujo por dichos dispositivos se estudia mejor si seleccionamos la zona dentro del dispositivo como el volumen de control. En el caso de un sistema abierto tanto la masa como la energía pueden cruzar la frontera de un volumen de control.

El motor de encendido por compresión (motor DIESEL) debe ser analizado como un sistema abierto y cerrado combinado, donde tendremos un flujo másico de aire hacia el interior del émbolo y la cámara de combustión, en este caso se trata de un sistema abierto, al momento de la compresión con las válvulas cerradas será un sistema cerrado, en la fase de expansión tendremos flujo másico del combustible hacia el émbolo y la cámara de combustión para este caso específico el sistema será abierto y en la fase de escape será un sistema abierto con el flujo másico de gases de escape producto de la combustión.

*La termodinámica se dedica al estudio y a la explicación de las interacciones energéticas que ocurren en un sistema y entre sistemas.*¹⁵

¹⁵ IDEM: Referencia 12

2.3.1. PROPIEDADES DE UN SISTEMA

Las características de un sistema se llaman propiedades, estas pueden ser: presión P , temperatura T , volumen V , masa m , entre las principales y más utilizadas, otras propiedades utilizadas en menor medida pero no menos importantes son: la viscosidad, conductividad térmica, módulo de elasticidad, coeficiente de expansión térmica, resistividad eléctrica, velocidad, elevación entre otros.

2.4 ESCALAS DE TEMPERATURA

Son escalas que permiten usar una base común para las mediciones de temperatura. El escala Celsius (símbolo $^{\circ}\text{C}$) es la unidad termométrica cuya intensidad calórica corresponde a la centésima parte entre el punto de fusión del agua y el punto de su ebullición en la escala que fija el valor de cero grados para el punto de fusión y el de cien para el punto de ebullición, esta escala es conocida como escala de dos puntos, puesto que los valores se asignan en dos puntos distintos.

Lord Kelvin, a sus 24 años introdujo la escala de temperatura termodinámica, y la unidad fue nombrada en su honor. El kelvin, simbolizado como K , es la unidad de temperatura de la escala creada sobre la base de la escala Celsius, estableciendo el punto cero en el cero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$) y conservando la misma dimensión. Dichas escalas pertenecen al S.I. Sistema Internacional de Unidades.

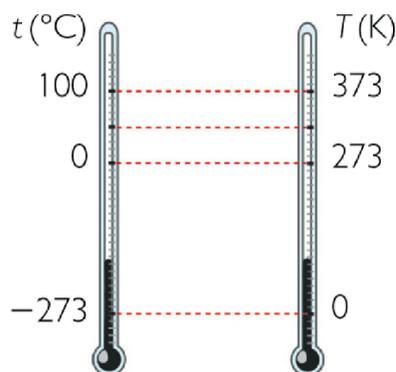


Figura 2. 5 Escala Celsius y Escala Kelvin.

Fuente: <http://cientific2.blogspot.com/2010/10/escala-celsius.html>

2.5 PRESIÓN

La presión se define como la fuerza normal que ejerce un fluido por unidad de área. Se habla de presión cuando se trata de gas o líquido, mientras que en los sólidos es el esfuerzo normal. Su unidad en el Sistema Internacional es el Newton por metro cuadrado $\left(\frac{N}{m^2}\right)$, llamada comúnmente como Pascal (Pa).

La unidad de presión pascal es demasiado pequeña para las presiones que en la práctica se generan, por ello se usan comúnmente los múltiplos kilopascal ($1\text{ kPa} = 10^3\text{ Pa}$) y megapascal ($1\text{ MPa} = 10^6\text{ Pa}$). Existen otras unidades para denotar presión y esfuerzo normal, que son muy usadas en especial en máquinas provenientes de Europa, a continuación se detalla cuales son y sus equivalencias.

Tabla 2. 1 Tabla de unidades de presión comúnmente usadas y sus respectivas equivalencias.

Fuente: Autores

Multiplique por	Kg/cm^2	Psi	Atmósfera	Bar	Kilopascal
Kg/cm^2	1	14.22	0.9678	0.98067	98.0670
Psi	0.0703	1	0.06804	0.06895	6.845
Atmósfera	1.0332	14.696	1	1.01325	101.325
Bar	1.0197	14.503	0.98692	1	100
Kilopascal	0.0101	0.1450	0.00986	0.01	1

La presión real en una determinada posición se llama presión absoluta, y se mide con respecto al vacío absoluto en este punto la presión absoluta es de cero. Pero la mayoría de los dispositivos para medir presión se calibran a cero en la atmosfera, por lo que indican la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica local, esta diferencia es conocida como presión manométrica. Las presiones de vacío son aquellas que están por debajo de la presión atmosférica¹⁶. Todas estas presiones son todas positivas y se relacionan entre sí:

¹⁶ IDEM: Referencia 12

$$P_{manométrica} = P_{absoluta} - P_{atmosférica}$$

$$P_{vacío} = P_{atmosférica} - P_{absoluta}$$

2.6 SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Se había mencionado anteriormente que el principio de conservación de la energía es la primera ley de la termodinámica pero el hecho de que un proceso cumpla dicho principio no asegura que en realidad ocurra.

Un segundo principio termodinámico que nos hace caer en cuenta que los procesos van en cierta dirección y no en dirección contraria. Sin embargo, el uso de la segunda ley no se limita a identificar la dirección de los procesos, también afirma que la energía tiene calidad y cantidad, además que se usa también para determinar los límites teóricos de desempeño de sistemas de ingeniería de uso ordinario, como máquinas térmicas.

2.7 MAQUINAS TÉRMICAS

Como se refirió antes, el trabajo se convierte fácilmente en otras formas de energía, pero convertirlas estas en trabajo no es fácil.

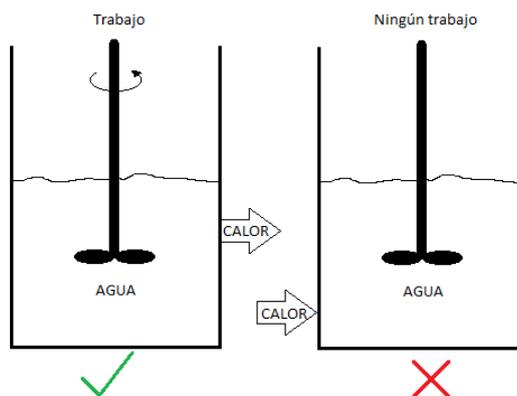


Figura 2. 6 Forma representativa en la que se indica que el trabajo puede ser convertido en calor de forma directa y completamente, pero el caso opuesto no es posible.

Fuente: Autores

En la *figura 2.6* se evidencia lo explicado anteriormente, considerando una flecha que realiza trabajo mecánico sobre el agua, la misma que se convierte en energía interna del agua y que puede salir entonces como calor. Cualquier intento por

revertir el proceso fallara, es decir proporcionar calor al agua no hará que la flecha gire. Para convertir el calor en trabajo se requieren de dispositivos especiales denominados máquinas térmicas.

Las máquinas térmicas difieren entre sí pero es posible caracterizarlas mediante:

- ✓ Reciben calor de una fuente de alta temperatura
- ✓ Convierten parte de este calor en trabajo
- ✓ Rechazan el calor de desecho hacia un sumidero
- ✓ Operan en un ciclo

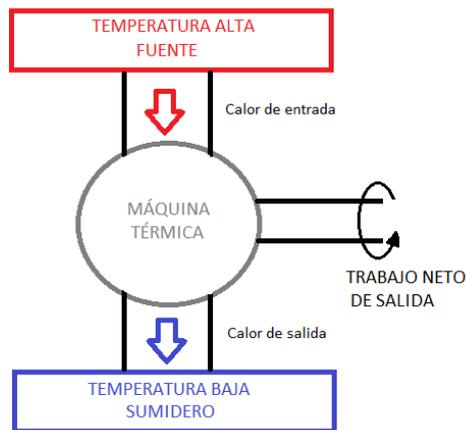


Figura 2. 7 Esquemización de una máquina térmica.
Fuente: Autores

Las máquinas térmicas por lo general requieren un fluido hacia y desde el cual se transfiere el calor mientras experimenta su ciclo a dicho fluido se lo conoce como fluido de trabajo. A continuación se presenta una nomenclatura de algunos factores que intervienen en el funcionamiento de una máquina térmica:

$Q_{entrada}$ = Cantidad de calor suministrado o calor de entrada

Q_{salida} = Cantidad de calor rechazado o calor de salida

$W_{entrada}$ = Cantidad de trabajo requerido o de entrada

W_{salida} = Cantidad de trabajo entregado o de salida

La salida de trabajo neto puede ser determinada en base a los datos de transferencia de calor y es la diferencia entre su calor suministrado y su calor rechazado así tenemos:

$$W_{neto.salida} = Q_{entrada} - Q_{salida}$$

2.7.1. EFICIENCIA TÉRMICA

En una maquina térmica se evidencia la magnitud de energía que se desperdicia con la finalidad de completar un ciclo de trabajo¹⁷. Pero el calor de salida o calor rechazado nunca es cero, de esta manera la salida neta de trabajo es siempre menor al calor suministrado ya que solo una parte se convierte en trabajo, el calor convertido en trabajo es una medida de desempeño de una maquina térmica y se denomina eficiencia térmica y se puede expresar como:

$$Eficiencia\ termica = \frac{Salida\ de\ trabajo\ neto}{Entrada\ de\ calor\ total}$$

$$\eta_{termica} = \frac{W_{neto.salida}}{Q_{entrada}}$$

$$\eta_{ter} = 1 - \frac{Q_{salida}}{Q_{entrada}}$$

2.7.2. MOTORES TÉRMICOS

Un motor térmico es todo aquel dispositivo capaz de transformar la energía química de un combustible en calor y de este una parte será disipado y otra parte convertido en energía mecánica. El calor necesario para conseguir que funcione una máquina térmica procede, generalmente, de la combustión de un combustible. Dicho calor es absorbido por un fluido que, al expandirse, pone en movimiento las distintas piezas de la máquina.

El rendimiento de una máquina térmica es el cociente entre la energía mecánica producida y el calor tomado del foco caliente. Las máquinas térmicas tienen

¹⁷ IDEM: Referencia 12

rendimientos muy bajos, ya que tan sólo una pequeña parte del calor producido se puede transformar en trabajo, y el resto se utiliza en calentar el fluido que pone en movimiento a la máquina, en vencer el rozamiento de las piezas que la componen o simplemente se disipa al ambiente en forma de calor.

2.7.2.1. Entropía y Procesos Isentrópicos

La primera ley de la termodinámica trata con la propiedad de energía y la conservación de la misma, la segunda ley define otra propiedad llamada entropía, la cual hasta cierto punto es abstracta y difícil de describir físicamente sin considerar el estado microscópico del sistema en el cual diríamos que la entropía es la medida del desorden molecular de una materia o sustancia, sin embargo de manera sencilla y aplicando a un campo macroscópico se puede decir es una magnitud física que, mediante cálculo, permite determinar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. Es importante señalar que la entropía no está definida como una cantidad absoluta S (símbolo de la entropía), sino lo que se puede medir es la diferencia entre la entropía inicial de un sistema S_i y la entropía final del mismo S_f . No tiene sentido hablar de entropía sino en términos de un cambio en las condiciones de un sistema¹⁸.

Un proceso isentrópico es aquel en el que una sustancia de masa fija tendrá el mismo valor de entropía tanto al final como al inicio del proceso que se lleva a cabo, en dicho caso tendremos:

$$\Delta S = 0 \quad o \quad S_2 = S_1 \quad (\text{kJ/kg.K})$$

En un proceso isentrópico, debe cumplirse una de las siguientes condiciones:

- Que el proceso sea adiabático (sin intercambio de calor) y reversible.
- Que el incremento de entropía de la sustancia durante el proceso como resultado de su irreversibilidad, pueda compensarse con una disminución de entropía como resultado de las pérdidas de calor.

¹⁸ IDEM: Referencia 12

2.7.2.2. Leyes de los gases ideales

La ley de los gases ideales es la ecuación de estado del gas ideal, un gas hipotético formado por partículas puntuales, sin atracción ni repulsión entre ellas y cuyos choques son perfectamente elásticos (conservación de momento y energía cinética). La energía cinética es directamente proporcional a la temperatura en un gas ideal. Los gases reales que más se aproximan al comportamiento del gas ideal en condiciones de baja presión y alta temperatura.

2.7.2.2.1. La ecuación de estado

La ecuación que describe normalmente la relación entre la presión, el volumen, la temperatura y la cantidad (en moles) de un gas ideal es:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Dónde:

P = Presión absoluta

V = Volumen

n = Moles de gas

R = Constante universal de los gases ideales (8.314472 J/mol.K)

T = Temperatura absoluta

2.7.2.2.2. Ley de Boyle-Mariotte

También llamado proceso isotérmico. Afirma que¹⁹, a temperatura y cantidad de gas constante, la presión de un gas es inversamente proporcional a su volumen:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2}$$

$n = \text{Constante}$ $T = \text{Constante}$

¹⁹ IDEM: Referencia 12

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

2.7.2.2.3. Leyes de Charles y Gay-Lussac

Se considera así al proceso isobárico para la Ley de Charles, y al isocórico para la ley de Gay Lussac.

2.7.2.2.3.1. Proceso isobaro (Charles)

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2}$$

$n = \text{Constante}$ $P = \text{Constante}$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

2.7.2.2.3.2. Proceso isocórico (Gay Lussac)

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2}$$

$n = \text{Constante}$ $V = \text{Constante}$

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

2.7.2.2.4. Ley de Avogadro

Asegura que en un proceso a presión y temperatura constante²⁰ (isobaro e isoterma), el volumen de cualquier gas es proporcional al número de moles presente, de tal modo que:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1 \cdot n_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2 \cdot n_2}$$

$$T = \text{Constante} \quad P = \text{Constante}$$

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

2.8. CICLOS DE POTENCIA DE GAS

2.8.1. CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA EL ANÁLISIS DE LOS CICLOS DE POTENCIA

La mayoría de los dispositivos que producen trabajo operan en ciclos y el estudio de dichos ciclos que se llevan a cabo en los dispositivos reales son difíciles de analizar debido a efectos complicados como pueden ser fricción, dificultad al momento de establecer condiciones de equilibrio, etc. Para que sea factible un estudio analítico como el que se realizara a continuación es necesario utilizar algunas idealizaciones. Cuando al ciclo real se eliminan las irreversibilidades y complejidades internas, se consigue finalmente un ciclo parecido hasta cierto punto al real pero está formado internamente por procesos idealizados reversibles. Dicho ciclo se lo conoce como ciclo ideal.

Este modelo idealizado permitirá estudiar los efectos que están sucediendo considerando los parámetros principales sin detenerse en los detalles y manteniendo las características generales de los reales a quienes representan. Las idealizaciones y simplificaciones empleadas comúnmente en el análisis de los ciclos de potencia, pueden resumirse del siguiente modo:

²⁰ IDEM: Referencia 12

1. El ciclo no implica ninguna fricción. Por lo que el fluido de trabajo no pasa por ninguna caída de presión cuando fluye en tuberías u otros dispositivos.
2. Todos los procesos de expansión y compresión ocurren en la forma de casi-equilibrio.
3. Las tuberías que conectan a los diferentes componentes del sistema están muy bien aisladas y la transferencia de calor mediante estos es insignificante.
4. Ignorar cambios de energía cinética y potencial del fluido de trabajo

2.8.2. SUPOSICIONES DE AIRE FRIO ESTÁNDAR

El aire es el fluido de trabajo que se usa en el ciclo diésel pero este sufre cambios durante el proceso primero es alterado químicamente por la adición de un combustible y al ser un ciclo abierto no regresa a su estado inicial sino que es expulsado del sistema, pero dado que hacerlo de este modo representaría un alto grado de complejidad se realizan las siguientes suposiciones para llevar el proceso a un nivel manejable²¹:

1. El fluido de trabajo es aire que circula de modo continuo en un circuito cerrado y siempre se comporta como un gas ideal.
2. Los procesos que integran el ciclo son internamente reversibles.
3. El proceso de combustión es sustituido por un proceso de adición de calor desde una fuente externa.
4. El proceso de escape es sustituido por un proceso de rechazo de calor que regresa al fluido de trabajo a su estado inicial.

2.8.3. CICLO DIÉSEL

El motor de encendido por compresión (motor a Diésel) es una máquina reciprocante formada básicamente por un conjunto cilindro-émbolo una invención que ha probado ser muy versátil y que abarca un amplio rango de aplicaciones entre las que tenemos automóviles, maquinaria pesada, camiones y en nuestro caso particular la generación de energía eléctrica. El émbolo reciprocante se

²¹ IDEM: Referencia 12

alterna entre dos posiciones fijas llamadas punto muerto superior PMS y punto muerto inferior PMI, la primera que se forma con el menor volumen posible y la segunda con el máximo volumen posible. La distancia entre estos dos puntos se le conoce con el nombre de carrera del pistón o simplemente carrera.

El aire se introduce al interior del cilindro por una válvula conocida como válvula de admisión y los productos de combustión se expelen por el cilindro mediante la válvula de escape. La relación entre el volumen máximo formado en el cilindro y el volumen mínimo se le conoce como relación de compresión r del motor y es igual a:

$$r = \frac{v_{max}}{v_{min}}$$

Dicha relación es entre volúmenes mas no entre presiones. Otro término empleado cuando tratamos con máquinas térmicas reciprocantes es la presión media efectiva PME, una presión idealizada (imaginaria) que si actuara sobre el embolo durante toda la carrera de potencia produciría la misma cantidad de trabajo neto que el producido por el ciclo real. Es decir la relación quedaría:

$$W_{neto} = PME \cdot \text{área del émbolo} \cdot \text{carrera} = PME \cdot \text{volumen de desplazamiento}$$

$$PME = \frac{W_{neto}}{v_{max} - v_{min}}$$

En los motores diésel únicamente el aire es comprimido durante la carrera de compresión, descartando la posibilidad de autoencendido, por lo tanto los motores diesel pueden ser diseñados a relaciones de compresión más altas, habitualmente 12 y 24. Al no tener el problema del autoencendido conlleva a otro beneficio: los combustibles utilizados pueden ser menos refinados y por lo tanto menos costosos.

El proceso de inyección de combustible en los motores diesel empieza cuando el pistón se aproxima al punto muerto superior y continúa durante la primera parte de la carrera de potencia. Por lo tanto, en estos motores el proceso de combustión sucede durante un periodo más largo. Debido a esta mayor duración el proceso de combustión en el ciclo diesel ideal se obtiene como un proceso de

adición de calor a presión constante. De hecho, este es el único proceso donde los ciclos de Otto y Diesel difieren. Los 3 procesos restantes son los mismos para ambos ciclos ideales. Es decir 1-2 es una compresión isentrópica, el 3-4 una expansión isentrópica, y el 4-1 un rechazo de calor a volumen constante.

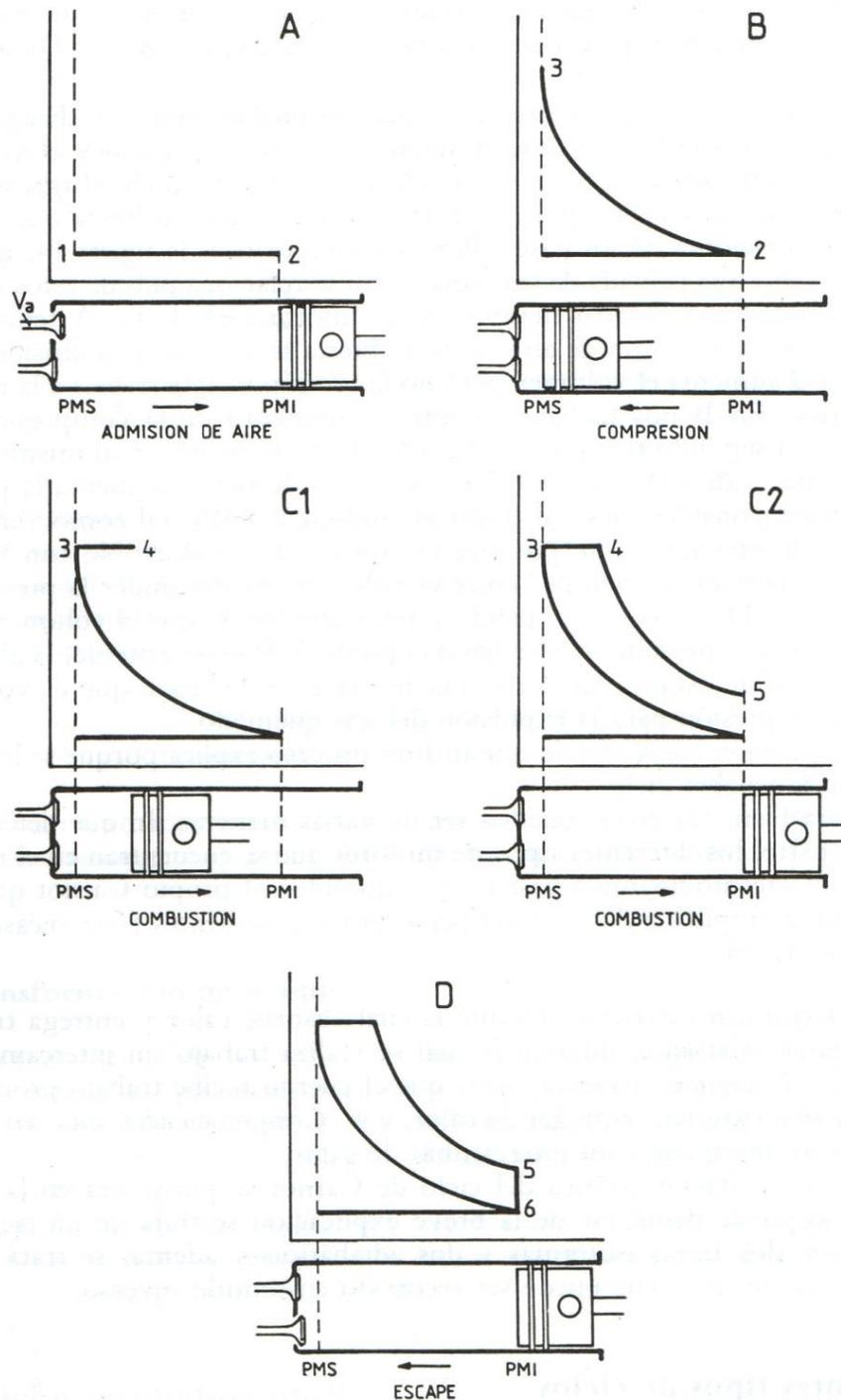


Figura 2. 8 Procesos termodinámicos llevados a cabo durante el ciclo Diésel.
Fuente: CASTRO Miguel, El motor diésel en el automóvil, Editorial CEAC

Teniendo en consideración que el ciclo Diesel se ejecuta en un dispositivo de pistón y cilindro, que forma un sistema cerrado, la cantidad de calor añadida al fluido de trabajo a presión constante y rechazada por este a volumen constante puede expresarse como:

$$q_{entrada} - w_{salida} = u_3 - u_2$$

$$q_{entrada} = P_2(V_3 - V_2) + (U_3 - U_2)$$

$$q_{entrada} = h_3 - h_2$$

$$q_{entrada} = c_p(T_3 - T_2)$$

Y

$$-q_{salida} = u_1 - u_4$$

$$q_{salida} = u_4 - u_1$$

$$q_{salida} = c_v(T_4 - T_1)$$

Entonces, la eficiencia térmica de un ciclo Diesel ideal bajo las suposiciones de aire frío estándar se vuelve²²:

$$n_{ter.Diesel} = \frac{w_{neto}}{q_{entrada}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{k \cdot T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

Ahora se define una nueva cantidad, la relación de corte de admisión r_c como la relación de los volúmenes del cilindro antes y después del proceso de combustión:

$$r_c = \frac{V_3}{V_2} = \frac{v_3}{v_2}$$

²² IDEM: Referencia 12

Al usar esta definición y las relaciones de gas ideal isentrópicas para procesos 1-2 y 3-4, la relación de la eficiencia térmica se reduce a:

$$n_{ter.Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$

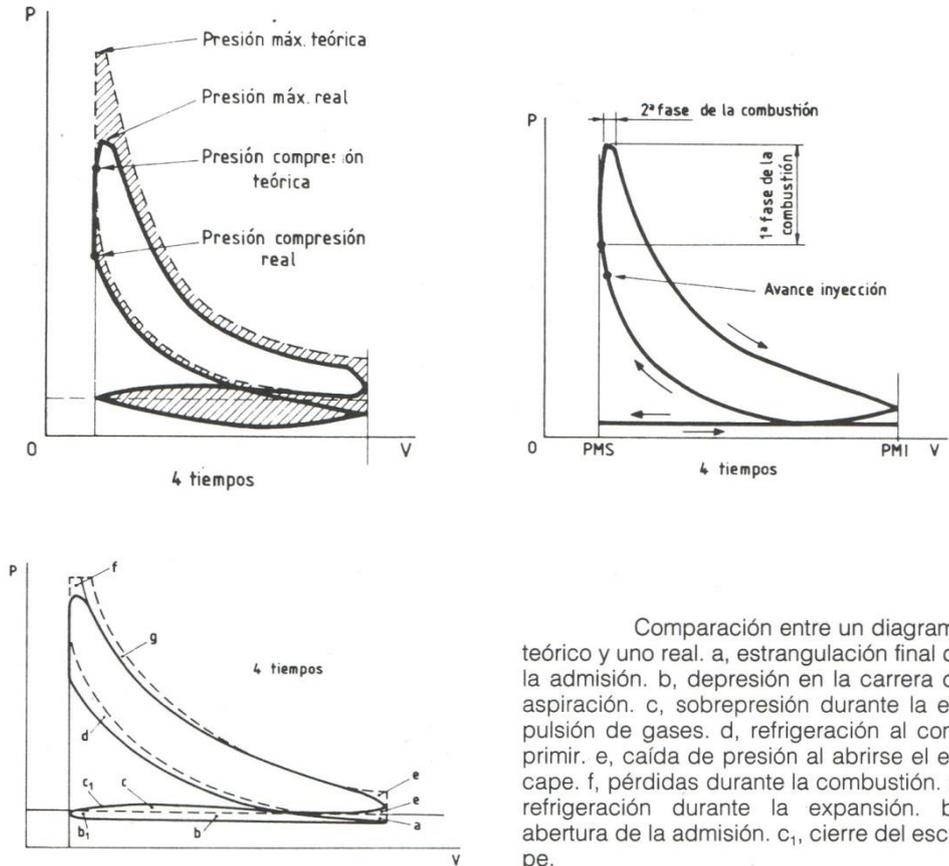


Figura 2. 9 Comparaciones entre el ciclo Diésel ideal y real.
Fuente: CASTRO Miguel, El motor diésel en el automóvil, Editorial CEAC

Donde r es la relación de compresión. Si se observa cuidadosamente la ecuación anterior se notara que bajo las suposiciones de aire frío estándar la eficiencia de un ciclo Diesel difiere de la de un ciclo Otto por la cantidad que está entre paréntesis la cual siempre es mayor que 1. Por lo tanto:

$$n_{ter.Otto} > n_{ter.Diesel}$$

Cuando ambos ciclos operan en la misma relación de compresión. Asimismo, cuando la relación de corte disminuye, la eficiencia del ciclo Diesel aumenta. Para el caso limitante de $r_c = 1$ la cantidad entre paréntesis se vuelve la unidad y las

eficiencias de los ciclos Otto y Diesel se vuelven idénticos. Recuerde, sin embargo, que los motores Diesel operan con relaciones de compresión mucho más altas, por lo que suelen ser más eficientes. Los motores diesel también queman el combustible de manera más completa ya que usualmente operan a menos revoluciones por minuto y la relación de masa de aire y de combustible es mucho mayor que los motores de encendido por chispa. Las eficiencias térmicas de los motores diesel varían aproximadamente entre 35 y 40 por ciento.

Considerar al proceso de combustión en motores de combustión interna como un proceso de adición de calor a volumen o a presión constante es demasiado simple y nada realista. Pero para nuestro caso particular tomaremos dichas referencias, se realizarán los cálculos y tendremos una base para formular criterios en cuanto a si es posible o no usar el aceite residual de frituras ARF como combustible.

2.9. ANÁLISIS TERMODINÁMICO DEL MOTOR A DIÉSEL BOTONG HDY2500L

Para los siguientes análisis propiamente de nuestro motor en las dos condiciones de funcionamiento, la primera con diésel comercial y la segunda con ARF (Aceite residual de frituras) tenemos las siguientes suposiciones:

- Las suposiciones de aire frío estándar son aplicables, por lo tanto puede suponerse que el aire tiene calores específicos constantes a temperatura ambiente.
- Los cambios de energía cinética y potencial son insignificantes.

2.9.1. RECOPIACIÓN DE DATOS DEL MOTOR A DIÉSEL BOTONG HDY2500L

- Datos generales del motor y las condiciones ambientales



Figura 2. 10 Datos en tiempo real del clima.

Fuente: Autores; <http://www.worldmeteo.info/es/tiempo.html?id=ECXX0020>

Tabla 2. 2 Datos generales previos al cálculo.

Fuente: Autores

Marca:	BOTONG
Modelo:	HDY2500L
Combustible:	Diésel
Relación de compresión:	31,2378
Voltaje nominal:	110 V AC / 12 V DC
Frecuencia:	60 Hz
Potencia nominal:	2,0 KW
Volumen cámara combustión:	7 cm ³
Presión atmosférica:	103,12 KPa / 1.0312 Bar
Fluido:	Aire estándar
Constante de gas:	0,287 kJ/kg.K

- **Volumen del cilindro**

<i>Diámetro del cilindro</i>	7 cm
-------------------------------------	------



Figura 2. 11 Mediciones en el cilindro.
Fuente: Autores

<i>Carrera</i>	5,5 cm
-----------------------	--------



Figura 2. 12 Mediciones en el cilindro.
Fuente: Autores

$$V_h = \pi \cdot (\text{radio del cilindro})^2 \cdot \text{carrera}$$

$$V_h = \pi \cdot (3,5 \text{ cm})^2 \cdot (5,5 \text{ cm})$$

$$V_h = 211.6648 \text{ cm}^3$$

- **Volumen de la cámara de combustión**

Para la obtención del volumen real utilizamos el siguiente procedimiento:

- ✚ Primero se debe colocar a nivel la superficie de la cámara como se muestra en la *Figura 2.13*

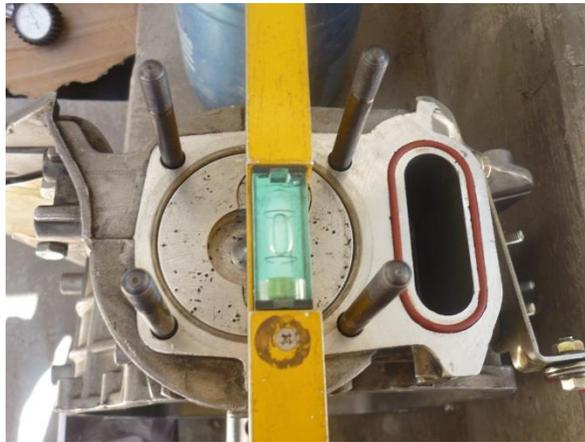


Figura 2.13 Colocación de la superficie a ser medida a nivel.
Fuente: Autores

- ✚ Se coloca un volumen específico de aceite en una probeta como se muestra en la *Figura 2.14*



Figura 2.14 Probeta de aceite.
Fuente: Autores

- ✚ Y se procede a colocar la cantidad necesaria de aceite, para llenar la cámara de combustión, a su vez observamos la cantidad faltante en la probeta dándonos como resultado el valor de volumen requerido para el cálculo, seguidamente extraemos el aceite de la cámara (*Figura 2.15*).



Figura 2. 15 Extracción del aceite de la cámara de combustión.
Fuente: Autores

El volumen obtenido después de realizar el proceso antes descrito es:

V_{cc}	7 cm^3
----------	------------------

- **Relación de compresión**

Se procede al cálculo con los valores antes obtenidos:

$$r = \frac{V_h + V_{cc}}{V_{cc}}$$

$$r = \frac{211.6648 \text{ cm}^3 + 7 \text{ cm}^3}{7 \text{ cm}^3}$$

$$r = 31.2378$$

2.9.2. Análisis teórico-termodinámico del motor a diésel BOTONG HDY2500L

Usando las suposiciones de aire frío estándar y las consideraciones básicas descritas anteriormente, procedemos a realizar unos cálculos rápidos para determinar si se puede o no (al menos en teoría) usar el aceite residual como combustible.

Proceso 1-2 (compresión isentrópica de un gas ideal)

Según los datos de las condiciones climáticas del sector donde se trabajara nos dice que la temperatura es de 14 °C o 287.15 K, y la presión atmosférica del

sector es de 103,12 *KPa* / 1.0312 *Bar*, se calcula las propiedades en función de la temperatura²³:

$$T = 290 \text{ K} \quad v_r = 676.1 \quad p_r = 1.2311$$

$$T = 285 \text{ K} \quad v_r = 706.1 \quad p_r = 1.1584$$

Con estos datos realizamos una interpolación lineal y encontramos las propiedades para $T_1 = 287.15 \text{ K}$

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1) + y_1$$

$$v_{r1} = \frac{(287.15 - 285)}{(290 - 285)}(676.1 - 706.1) + 706.1$$

$$v_{r1} = 693.2$$

$$p_1 = \frac{(287.15 - 285)}{(290 - 285)}(1.2311 - 1.1584) + 1.1584$$

$$p_{r1} = 1.1897$$

Ahora con estos datos calculo:

$$v_{r2} = \frac{v_2}{v_1} v_{r1} = \frac{1}{r} v_{r1} = \frac{1}{31.23} 693.2 = 22.2$$

De la tabla:

$$v_r = 23.29 \quad T = 1040 \text{ K} \quad p_r = 133.3$$

$$v_r = 21.14 \quad T = 1060 \text{ K} \quad p_r = 143.9$$

²³ IDEM: Referencia 12

Por lo tanto:

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)}(y_2 - y_1) + y_1$$

$$T_2 = \frac{(22.2 - 21.14)}{(23.29 - 21.14)}(1040 - 1060) + 1060$$

$$T_2 = 1050.14 \text{ K} \approx 777 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$p_{r2} = \frac{(22.2 - 21.14)}{(23.29 - 21.14)}(133.3 - 143.9) + 143.9$$

$$p_{r2} = 138.67$$

$$\frac{p_{r2}}{p_{r1}} = \frac{p_2}{p_1} \Rightarrow p_2 = \frac{p_{r2}}{p_{r1}} p_1 = \frac{138.67}{1.1897} 103.12 \text{ KPa}$$

$$p_2 = 12019.54 \text{ KPa} = 120.2 \text{ Bar}$$

El dato de T_2 nos indica la temperatura al final del proceso de compresión, es de vital importancia este dato, ya que, como habíamos mencionado antes los motores a diésel trabajan autoencendiendo la mezcla así que la temperatura de aire al final del proceso de compresión debe superar el punto de inflamación y autoencendido del combustible usado en este caso diésel y ARF. Según la norma INEN 1489:2011 que trata sobre las características del Diésel derivado de petróleo nos pide un punto de inflamación mínimo de 40 °C para el Diesel #1 y 51 °C para el Diesel #2, pero como se puede apreciar únicamente han limitado un mínimo entonces no se puede tener una apreciación real, por ello nos basaremos en la siguiente tabla:

Tabla 2. 3 Puntos de inflamación y autoencendido de algunos combustibles.

Fuente:<http://blogaustral.org/quimicaindustrial/preguntas-frecuentes/punto-de-inflamacion/>

Combustible	Punto de inflamación	Temperatura de autoencendido
Etanol (70%)	16.6 °C	363 °C
Nafta	-43 °C	246 °C
Diésel	>62 °C	210 °C
Kerosene	>38°-72 °C	220 °C
Biodiesel	>130 °C	

El punto de autoencendido del ARF no se lo ha podido medir para lo cual nos ayudaremos de un nuevo dato que es el *Índice de Cetano*, dicho índice guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del combustible y el comienzo de su combustión, denominado “Intervalo de encendido”. Una combustión de calidad ocurre cuando se produce un encendido rápido seguido de un quemado total y uniforme del combustible.

Cuanto más elevado es el número de cetano, menor es el retraso del encendido y mejor es la calidad de combustión. Por el contrario, aquellos carburantes con un bajo número de cetano requieren mayor tiempo para que ocurra el encendido y después queman muy rápidamente, produciendo altos índices de elevación de presión.

Si el número de cetano es demasiado bajo, la combustión es inadecuada y da lugar a ruido excesivo, aumento de las emisiones, reducción en el rendimiento y aumento de la fatiga del motor. Humo y ruido excesivos son problemas comunes en los motores diésel, especialmente bajo condiciones de arranque en frío.

El índice de cetano mínimo expresado en la norma INEN 1489 pide que para el Diésel #1 sea de mínimo 40 y para el Diésel #2 mínimo de 45, y según los análisis

químicos realizados en la Escuela Superior Politécnica del Litoral del ARF hacemos el siguiente resumen:

Tabla 2. 4 Resumen de puntos de inflamación y autoencendido referenciales.

Fuente: Autores

Característica	Diésel #1	Diésel #2	Biodiesel	ARF
Punto de inflamación	Min 40 °C	Min 51 °C	>130 °C	213 °C
	>62 °C			
Punto de autoencendido	210 °C			
Índice de Cetano	Min 40	Min 45		38

Según la *Tabla 2.4*, la temperatura al final del proceso de compresión T_2 calculada de 777 °C es lo suficientemente alta como para inflamar y autoencender el diésel y el ARF al 100% de concentración, además de que la presión a la que está sometido el aire también aporta para dicho objetivo, sin embargo se procederá con mezcla Diesel/ARF para notar posibles dificultades a lo largo del proceso.

CAPITULO 3

APLICACIÓN DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS A UN MOTOR DE ENCENDIDO POR COMPRESIÓN.

3.1 INTRODUCCION

A lo largo del capítulo explicaremos todos los pasos a seguir para la obtención, filtrado, y almacenamiento del aceite residual de frituras, así como las diferentes adaptaciones realizadas al generador BOTON HDY2500L, para lograr un funcionamiento estable del motor de encendido por compresión con el combustible alterno antes mencionado.

Para empezar el proceso de recolección de aceite residual de frituras, buscamos una empresa que nos facilitara de la mejor manera la cantidad mínima de aceite requerida para el estudio, por tal motivo mantuvimos contacto con una franquicia quiteña denominada “CARAVANA FAST FOOD”, esta empresa de comida rápida realiza una compra de 2000 litros de aceite mensuales a un precio de \$ 1.40 el litro, la gran cantidad de aceite adquirida vienen divididas en aproximadamente 100 canecas, cada una de estas tiene una capacidad de 5 galones, el 60% de aceite usado es almacenado para posteriormente ser vendido al gestor medio ambiental de la ciudad de Quito, el precio de este aceite ya usado es de \$ 5 la caneca, anteriormente la empresa mencionada tenía que pagar para que se llevaran ese aceite, pero con las medidas ambientales que ha impuesto la Municipalidad de Quito, los gestores del mismo se encargan de receptar este aceite a través de programas de recolección que buscan reducir el impacto ambiental, podríamos recalcar que al menos en la ciudad de Quito se realiza esta clase de control, es decir que franquicias de comida rápida situadas en otras ciudades del país desechan este aceite sin control alguno.

3.2 RECOLECCION DE ACEITE RESIDUAL

Explicado lo anterior, para nosotros obtener una la cantidad mínima de aceite residual para nuestro estudio, la empresa nos exigió una carta emitida por el director de carrera de nuestra especialidad, solicitando 6 canecas de aceite residual, debido a que era un volumen significativo el que requeríamos para nuestro estudio ellos debía justificar ante los gestores ambientales la insuficiencia de aceite residual que nos entregan, ya que dicho organismo de alguna u otra forma trata de controlar que empresas dedicadas a la comida rápida desechen sin control alguno grandes cantidades de aceite residual a nuestro ambiente convirtiéndose en sustancias altamente contaminantes.



Figura 3. 1 Entrada principal de CARAVANA FAST FOOD.

Fuente: Autores

Continuando con nuestro proyecto realizamos una visita a *Caravana Fast Food* para observar la obtención del aceite residual de frituras, ya en el lugar nos explicaron los altos índices de control que se realiza en el personal y la materia prima para garantizar el sabor de sus comidas, además de indicarnos las diferentes temperaturas a las que someten el aceite vegetal para garantizar una correcta cocción y dorado del producto final.



Figura 3. 2 Maquina de frituras (Freidora).
Fuente: Autores

Debemos recalcar que por higiene del producto antes de ser llevado a la freidora, pasan por un proceso de lavado y por contextura misma de las papas, ingresan con alto contenido de agua que debido a las altas temperaturas dentro de la freidora gran porcentaje de esta se evapora lo cual nos deja un aceite residual casi libre de agua.



Figura 3. 3 Limpieza y corte de las papas.
Fuente: Autores

Por control de calidad del producto final el aceite vegetal es reemplazado cada semana evitando la saturación del aceite vegetal, y por control ambiental es almacenado para que posteriormente el gestor medio ambiental se encargara de la eliminación del mismo sin ocasionar grandes impactos ambientales en la ciudad de Quito.



Figura 3. 4 Aceite vegetal almacenado (aceite residual de frituras).

Fuente: Autores

3.3 FILTRADO DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS

El aceite residual de fritura es una sustancia que se mantiene en contacto con una gran cantidad de alimentos que se cuecen a altas temperaturas, esto provoca que grandes cantidades de impurezas y carbonilla se dispersen por toda la masa líquida aceitosa, se podría decir que a bajas temperaturas la cantidad de impurezas aumenta ya que bajo estas condiciones el aceite residual de frituras se cristaliza aumentando su viscosidad y por ende dificultando su fluidez.

Tomando en cuenta lo ya explicado y si sabemos que los motores de combustión interna necesitan trabajar con sustancias líquidas limpias y que las mismas deben poseer un poder calorífico que el motor logre transformar en energía mecánica para realizar un determinado trabajo, debemos considerar seriamente la posibilidad de limpiar el aceite residual de frituras mediante un proceso de filtrado. Para esto se tuvieron varias ideas, dos de ellas fallidas, pero estas fueron la base que nos llevó a encontrar la ideal más eficiente e ideal que se logró concretar.

3.3.1 METODOS DE FILTRADO

- Método 1 de filtrado

En una adaptación especial de plástico que tenía forma de recipiente, se le colocó al final un papel filtrante, se llenaba dicho recipiente con el aceite residual de frituras y por el fondo del mismo se filtraba el aceite a través del papel, todo esto impulsado únicamente por la fuerza de gravedad, este método no resultaba conveniente porque tenía mucha deficiencia en cuestión de tiempo, ya que el

aceite era tan viscoso y poseía tantas impurezas que tardaba a razón de ¼ de litro cada dos horas en filtrarse, y conforme pasaba el tiempo tardaba aún más en filtrarse debido a la cantidad excesiva de impurezas que terminaban prácticamente en tamponar el papel filtrante.



Figura 3. 5 Método 1 de filtrado.
Fuente: Autores

- Método 2 de filtrado

Considerando lo aprendido en el método 1 de filtrado tomando en cuenta la respectiva acumulación excesiva de impurezas decidimos hacer una especie de filtrado paralelo, esto consistía en colocar un número determinado de elementos filtrantes uno encima del otro, desde el más grande al más pequeño (tamaño de los poros de filtración) con el único propósito de atrapar las impurezas más grandes en la parte superior y las impurezas más pequeñas sean atrapadas en la última barrera de filtrado, con el fin de alargar la durabilidad del papel filtrante con porosidad más pequeña es decir que este no se tapone. Se lo logró lo propuesto, pero no fue suficiente ya que al igual que el método 1 este es impulsado solo por la fuerza de gravedad y el tiempo para este proceso aun siendo más corto que el primero sigue siendo largo.





Figura 3. 6 Método 2 de filtrado.
Fuente: Autores

- Método 3 de filtrado

En el método tres se mejoraron muchas cosas, tanto así que este fue el método definitivo que se utilizó para dar inicio a la realización del proyecto de tesis, para este método se tomaron en cuenta todas las deficiencias que hacía que los métodos anteriores fallaran.

La primera deficiencia era la fuerza de impulsión, para evitar depender de la gravedad se colocó una bomba que con una fuerza constante impulsará el fluido del aceite residual de frituras a través de todo el sistema.

La segunda deficiencia era el área de filtrado, en los métodos anteriores esta área se limitaba a la de un círculo ya que era el final de un recipiente plástico donde se encontraba el papel filtrante, y por ende era solo hay donde se filtraba el aceite, para esto se fabricó una especie de contenedor cilíndrico de latón donde dentro del mismo se encontraba un tubo filtrador introducido en una media nilón, con este diseño no solo se filtrará por la parte inferior sino también se podrá filtrar el aceite por las “n” números de salidas que posee el tubo filtrador.





Figura 3. 7 Método de filtrado 3.
Fuente: Autores

3.3.2 FILTRADO DEL ACEITE

Nos vimos en la necesidad de hacer un filtrado del aceite antes de ser utilizado como combustible en el motor de encendido por compresión, este proceso es muy parecido al filtrado de un aceite automotriz utilizado para la lubricación, a diferencia que el realizado se desarrolla de una forma más compleja, ya que, estamos tratando con un aceite proveniente de animales y plantas utilizado anteriormente en frituras, puede llegar a ser igual de pesado que los aceites derivados de hidrocarburos, con la única diferencia de que este último no posee tantas impurezas y puede mantenerse 100% en estado líquido a temperatura ambiente (el ARF se cristaliza). Es decir, este aceite presenta mayor complejidad al momento del filtrado, por tal motivo es calentado para evitar que el filtro se sature a causa de la excesiva presencia de aceite cristalizado que esté presente en el ARF.

Una vez filtrado el aceite lo conservamos en un recipiente transparente y lo dejamos sedimentar el tiempo que sea necesario, para luego extraer el aceite que se encuentra en la superficie del recipiente, seguramente este se encuentra más puro que el encontrado en el fondo del mismo, de ser necesario debe ser calentado nuevamente para reducir al mínimo la presencia de aceite cristalizado, y al mismo tiempo evitar disminuir el calor obtenido dentro del depósito adaptado para el ARF, debido a un choque térmico provocado por las diferencias de temperaturas entre el aceite dentro de dicho tanque y el aceite que esta por ingresar al mismo.



Figura 3. 8 Proceso de filtrado.
Fuente: Autores

3.4 COMO SE AVERIÓ EL MOTOR 1

Una vez adquirido los dos motores para la realización de la tesis se pusieron a prueba para lograr determinar si estos estaban aptos para soportar las pruebas a las que iban a ser sometidos, pero a los pocos minutos de ponerlos a prueba uno de ellos colapsó, de una forma inesperada ya que se detuvo de golpe y queriéndole dar arranque nuevamente este ya no giraba, por lo que se procedió a desarmarlo y analizar el porqué del daño.

Cuando se realizó el desarmado nos encontramos con varios elementos torcidos y golpeados, analizando la cantidad de piezas y por la forma de los daños logramos determinar que hacía falta el seguro seguer que mantiene el bulón dentro del pistón y la biela, manteniéndolos juntos, esto provocó que dicho bulón se desplace hasta hacer contacto con la pared del cilindro, induciendo de tal manera el daño que se hizo irreparable, ya que el presupuesto en ese momento era insuficiente y adicionalmente los repuestos para este generador no existen en nuestro mercado.

Para evitar el posible daño del otro motor se tomó la precaución de también desarmarlo, revisamos todo el conjunto del motor y determinamos que este si se encontraba completo, y por ende podía funcionar y soportar adecuadamente las condiciones a la que lo sometimos para la realización del proyecto de tesis.



*Figura 3. 9 Elementos dañados en el motor.
Fuente: Autores*

3.5 PRUEBAS SONORAS DEL GENERADOR

Para nuestro estudio nos planteamos encender el generador por un periodo continuo de 8 horas, ya que el manual nos recomendaba no exceder de este tiempo, por motivos de seguridad industrial nos vimos en la obligación de realizar pruebas sonoras, para no afectar las condiciones de vida de las personas cercanas al generador.

La ley ecuatoriana permite un rango de ruido comprendido entre 40 a 50 decibeles en zonas residenciales, nuestro motor en campo abierto generaba cerca de 110 decibeles, lo cual en un ambiente cerrado sería mucho mayor, además para el arranque era necesario utilizar aceite de 2 dos tiempos lo cual generaba una molesta capa de humo, hasta que el motor llegara a su temperatura de funcionamiento.

Por los motivos antes expuestos nos vimos obligados a trasladar nuestro proyecto a la ciudad de Latacunga, a la parroquia 11 de Noviembre, en donde podríamos realizar nuestro estudio sin consecuencias sonoras para nadie.



Figura 3. 10 Sonómetro.
Fuente: Autores

3.6 ADAPTACIONES REALIZAS AL GENERADOR HDY2500L PARA SU FUNCIONAMIENTO CON ACEITE RESIDUAL

3.6.1 PRUEBAS PRELIMINARES DEL SERPENTÍN

Según la investigación inicial que realizamos antes de ejecutar nuestro proyecto, para que un motor de encendido por compresión utilice aceite residual como combustible alternativo este debe ser precalentado de 70 °C hasta 90 °C, la idea principal es colocar un tubo de cobre que se envuelva sobre el tubo de escape y así el primero se pueda calentar por el calor que emite el segundo, si los valores de temperatura ya indicados son los mínimos que se deben obtener, también debemos considerar los valores máximos hasta donde debería calentarse para no tropezar con lamentables accidentes, a continuación se muestra una tabla donde se muestren las temperaturas máximas de los elementos que estarán en contacto con el escape:

Tabla 3. 1 Temperatura máxima de los elementos en contacto con el escape.

Fuente: Autores

ELEMENTO	TEMPERATURA MÁXIMA
Cobre	Punto de fusión = 1084,62 °C
Aceite residual de frituras	Punto de auto-ignición = >213 °C
Caucho	Soporta los 400 °C

Si los comparamos con las temperaturas que emite el escape que es alrededor de los 200 °C el cobre no tendría ningún problema ya que su temperatura de fusión se encuentra mucho más alta.

El aceite residual de fritura no sufriría una auto-ignición ya que la temperatura del fluido dentro del tubo de escape no sobrepasa los 90 °C, esto lo pudimos comprobar ya que se realizaron pruebas preliminares antes de su utilización la imagen a continuación indica la temperatura a la que sale el fluido dentro del serpentín.

El caucho no tendría inconveniente alguno ya que este elemento es un aislante natural del calor y adicionalmente puede soportar grandes temperaturas sin llegar a deformarse, más bien solo tiende a endurecerse.



Figura 3. 11 Adaptación de un escape para la colocación de un serpentín.
Fuente: Autores

3.6.2 COMO SE REALIZÓ LA ADAPTACIÓN

Se tomó en cuenta la idea principal que consistía en que existieran dos circuitos independientes para alimentar el motor de encendido por compresión, para esto se tomaron en cuenta los materiales necesarios y el espacio físico requerido para efectuar el mismo; una vez analizado lo anterior proseguimos a trabajar en la adaptación siempre tomando en cuenta las necesidades requeridas para poder obtener un buen funcionamiento, a continuación tenemos la descripción de cada elemento utilizado en la adaptación y el motivo de su utilización así como la importancia de los mismos.

3.6.2.1 *Serpentín de cobre - tubo de escape*

Inicialmente se procedió a realizar la adaptación para que el motor pudiera funcionar con aceite residual de frituras tomando en cuenta nuestro diseño inicial, que consistía en precalentar el aceite utilizando los gases de escape como energía, para esto utilizamos una cañería de cobre que actuará como serpentín y estará en contacto directo con el tubo de escape, envolviéndose en el mismo para luego ser soldado y evitar el desgaste por rozamiento a causa de la constante vibración.



*Figura 3. 12 Adaptación definitiva en el escape.
Fuente: Autores*

3.6.2.2 *Reservorio para el aceite residual de frituras*

Procedimos adaptarle un reservorio pequeño que tiene una capacidad de 2 litros aproximadamente, se escogió este reservorio precisamente por su capacidad, al ser esta no muy grande podemos hacer muchas variaciones de mezcla pudiendo determinar cuál de estas es la más idónea.



*Figura 3. 13 Adaptación en el generador HDY2500L.
Fuente: Autores*

3.6.2.3 Llaves de paso

Se adaptaron 5 llaves de paso, sus posiciones se describen a continuación:

- Dos para la línea de diesel
 - Alimentación al inyector
 - Retorno al tanque
- Dos para la línea de aceite residual de frituras
 - Alimentación al inyector
 - Retorno al tanque
- Una para drenaje del circuito

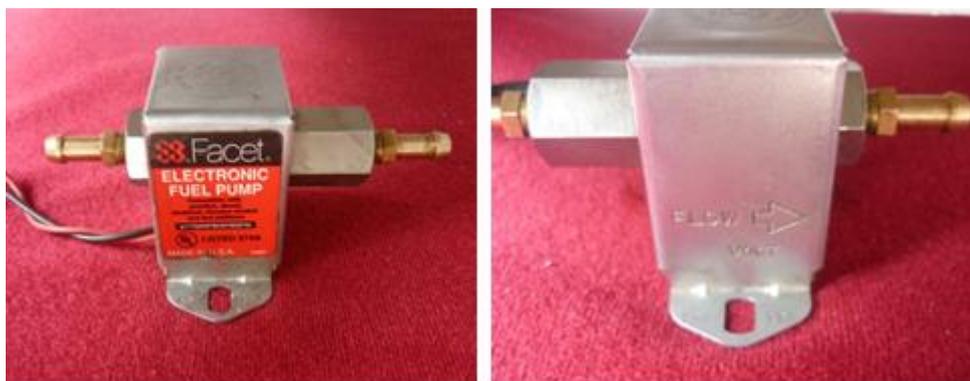
Se procedieron a colocarlas con el fin de asegurarnos que solo una línea específica este alimentando al motor de encendido por compresión, estas pasan de abierta a cerrada o viceversa, siempre de una forma alternada una respecto a la otra.



*Figura 3. 14 Acoples para el funcionamiento en paralelo del aceite residual de frituras en el generador.
Fuente: Autores*

3.6.2.4 Bomba eléctrica

Al ir aumentando la cantidad de aceite residual de frituras en la mezcla, el poder calorífico del combustible reducía, provocando así una leve caída de voltaje que producía el generador, cuando se llegó a una mezcla 40% ARF y 60% diesel nos vimos en la necesidad de adaptar una bomba eléctrica que era conectada al generador ya que el mismo empezaba a mostrar un exceso de vibraciones, luego de instalarla el problema se solucionó hasta que colocamos una mezcla 50% ARF - 50% diesel, el voltaje el cual alimentaba la bomba bajó y esta se apagó volviendo así al problema inicial, para solucionar este inconveniente nos vimos en la necesidad de conectar la bomba a una batería automotriz, soportando correctamente el funcionamiento hasta con el 100% de ARF.



*Figura 3. 15 Bomba eléctrica necesaria a partir de una mezcla 50/50 (diesel/aceite residual).
Fuente: Autores*

3.6.2.5 Filtro de combustible

Como medida de seguridad se decidió colocar un filtro para proteger la línea de alimentación, en especial al inyector del motor de encendido por compresión, el filtro también nos ayuda a visualizar si la línea de alimentación está llena con aceite residual de frituras o diesel.



Figura 3. 16 Filtro
Fuente: Autores

3.6.2.6 “Y” y “T” de bronce

Fueron colocadas con el fin de poder cambiar el fluido con el que se alimentará el motor de encendido por compresión, el cual puede ser con diesel o aceite residual de frituras, estos elementos fueron ubicados en la siguiente forma:

- Uno para la alimentación del inyector
- Uno para el retorno al tanque y
- Uno para el drenaje del sistema.



Figura 3. 17 “Y” y “T” de bronce.
Fuente: Autores

3.7 CANTIDAD DE AGUA EN EL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS

Para que un combustible pueda ser usado en un motor de combustión interna debe tener la cantidad mínima de agua, ya que este elemento puede perjudicar a la combustión y a los elementos metálicos con los que pueda tener contacto, como por ejemplo la cámara de combustión, si dentro de este compartimiento llegase a introducirse agua se produciría un picado sobre la cabeza del cilindro o en el cabezote, para asegurarnos que esto no ocurrirá, al aceite residual de frituras se le hace un prueba con un comprobador de agua shell que se utiliza en la aviación, la misma que consiste en una especie de botón filtrador que se coloca en la punta de una jeringa y lo introducimos dentro de la muestra de aceite residual de frituras se succiona expandiendo la jeringa y según la tonalidad que empiece a tomar el botón filtrador se determina la cantidad que se encuentra dentro del fluido.



*Figura 3. 18 Comprobador del nivel de agua existente en el aceite residual.
Fuente: Autores*

Para este caso según la tonalidad del botón filtrador el aceite residual de frituras posee una cantidad totalmente despreciable y esto se puede saber ya que al ser aceite usado de frituras sabemos por lógica que este fluido fue sometido al calor, sobrepasando los 100°C que es la temperatura a la que se evapora el agua, podemos confirmar este dato ya que en el laboratorio donde se hizo el análisis químico el fluido presentó la cantidad mínima permitida que necesita un combustible para sea utilizado dentro de un motor de combustión interna.

3.8 PUESTA EN MARCHA DEL GENERADOR HDY2500L



*Figura 3. 19 Arranque del generador HDY2500L.
Fuente: Autores*

- 17 de Enero del 2013. Al concluir la adaptación y luego de 8 horas de funcionamiento se procedió a encender el motor directamente con diesel, luego de unos 20 minutos se procedió a realizar el cambio por la mezcla de aceite residual de frituras y el diesel que en ese momento se encontraba con un 10% y un 90% respectivamente, pudiendo observar que el motor aumentó levemente sus revoluciones y por tal motivo el voltaje del generador también presentó un incremento.

Luego de tres horas de funcionamiento procedimos a variar la mezcla, aumentando el porcentaje de aceite residual de frituras a un 20%, no se presenta ningún cambio los valores de voltaje, revoluciones y temperaturas se mantienen estables durante las cuatro horas que se mantuvo con un 20% de aceite residual de frituras.



*Figura 3. 20 Colocación de aceite residual en un depósito diseñado para tal fin.
Fuente: Autores*

- 18 de Enero del 2013. Después de 15 horas de funcionamiento hacemos funcionar el generador hasta las 18 horas utilizando una mezcla variada, aumenta el porcentaje de aceite residual de frituras a un 30% y se mantiene aún en el rango estimado de funcionamiento, se aumentó a un 40% de aceite residual de frituras, bajando levemente su voltaje pero conservándose en un valor aceptable, bajo estas condiciones el motor funcionó las horas 19 y 20 sin mostrar mayor inconveniente.
- 19 de Enero del 2013. Las horas 21 y 22 del siguiente día continuamos utilizando la mezcla 40% ARF – 60% diesel funcionando sin molestia alguna, se realizó la modificación de la mezcla pasando a un 50% - 50% que conformaba la misma, sin interrumpir el funcionamiento continuo del motor para observar las posibles diferencias que pudieran darse, durante las horas 23, 24 y 25 el mismo comenzó a presentar una inestabilidad muy notable, se pensó que era a causa del exceso de aceite residual, pero antes de realizar cualquier acción se procedió a efectuar una inspección visual de todo el motor para asegurarnos que no exista una anomalía que sea la causante de su mal funcionamiento. En efecto, se encontró una parte del tubo de cobre con una trisadura a causa de la vibración que a su vez provocaba rozamiento de dicho tubo con el cuerpo o carcasa del motor.

Se procedió a reparar el daño, durante el desmontaje del tubo de cobre nos encontramos con algunas trisaduras (aparte de la inicial) a causa de dicha vibración, por lo que concluimos modificar la adaptación reforzando dicho tubo de cobre con el escape fijándolo firmemente con soldadura.

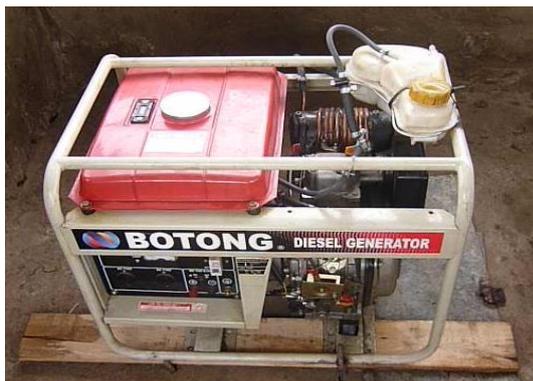


Figura 3. 21 *Generador HDL2500L con la adaptación realizada para funcionar con aceite residual de frituras.*

Fuente: Autores

- 23 de Enero del 2013. Pasando 4 días de para por motivos de reparación hacemos funcionar nuevamente con una mezcla 50% - 50%, pasando así las horas 26 y 27, funcionando adecuadamente hasta que se detectó por segunda ocasión una inestabilidad que acreditamos a la reducción del poder calorífico de la mezcla a causa del aumento de aceite residual en la misma. Por tal motivo decidimos hacerle funcionar con 100% diesel hasta que se estabilice y limpie por completo la cañería de alimentación y el inyector, durante este proceso transcurrida la hora 30 nos encontramos con nuestra primera temperatura alta, la misma proveniente del tubo de escape.
- 24 de Enero del 2013. Una vez ejecutadas las acciones anteriores volvimos a la mezcla 40% ARF – 60% diesel, llegando hasta las horas 31, 32, 33, 34 y 35, así volvimos a experimentar con una mezcla 50% - 50% y nuevamente presentó inestabilidad por lo que nos vimos en la necesidad de encontrar el problema, la deducción más lógica era la mezcla, debido al aumento de aceite residual y consecuentemente a la reducción de su poder calorífico, por cuanto procedimos a mandar presión de aire en el reservorio adaptado, cuando esto ocurría el motor se estabilizaba y cuando no se lo hacía volvía a decaer el voltaje generado, analizando varias opciones decidimos instalar una bomba eléctrica fuera del tanque que ayude a impulsar la mezcla y así mantener firme su funcionamiento, dicho elemento se adaptó y el problema hasta ese momento fue solucionado, transcurriendo las horas 36, 37, 38, 39 y 40.

- 25 de Enero del 2013. Se continuó utilizando la mezcla 50% - 50%, sin novedad aparente ya que transcurrieron las 41, 42, 43 y 44 horas de funcionamiento, procediendo aumentar el porcentaje de aceite residual hasta un 60%, en la hora 45 se presentó la segunda temperatura alta es decir una hora después de aumentar el porcentaje de aceite residual de frituras, en este mismo día no presentó algún otro inconveniente, así se logró llegar hasta las 50 horas de funcionamiento, es decir se lograron transcurrir 6 horas más con esta nueva mezcla, por lo que se decidió continuar al siguiente día utilizando la misma y determinar si esta no representa algún inconveniente.



Figura 3. 22 Arranque con aceite de 2 tiempos, generación de humo contaminante.
Fuente: Autores

- 26 de Enero del 2013. La bomba eléctrica adaptada se conectaba a una línea de 12 voltios del mismo generador, la misma funcionaba adecuadamente hasta que la bomba comenzó a fallar debido a la reducción de voltaje del cual se alimentaba, la bomba prácticamente se apagaba, esto sucedió en la hora 51 por lo que en la hora 52 se lo hizo funcionar con 100% diesel para lograr conseguir solución al problema ya mencionado. Pasada esta hora se decidió hacer que este elemento sea totalmente independiente conectándolo exteriormente a una batería automotriz, el problema nuevamente fue solucionado. En este punto de experimentación se logró aumentar la dosis de aceite residual ya que durante la hora 53 se lo hizo funcionar con una mezcla 70% ARF – 30% diesel, la hora 54 funcionó con 80% ARF – 20% diesel, la hora 55 funcionó con 90% ARF – 10% diesel y las horas 56, 57, 58 y 59 se logró hacerlo con

un 100% de aceite residual de frituras, durante este transcurso de tiempo el generador se mantuvo estable, el único inconveniente que se llegó a presentar fue al aumento de temperatura que fue más frecuente durante este periodo de funcionamiento, los mismos ocurrieron en la hora 53, en el cabezote y en el escape, en la 55 en el cabezote, en la 56 en el escape, en la 58 en el cabezote y durante la hora 60 que se lo hizo funcionar con 100% diesel presento altas temperaturas en el escape.

- 27 de Enero del 2013. En este día de experimentación decidimos hacer funcionar el motor solo con diesel una hora luego del encendido y una hora antes del apagado, con el único propósito de calentarlo adecuadamente al comienzo y así hacer el cambio con aceite residual y al final del día limpiar por completo la línea de alimentación y el inyector, para al día posterior no tener fallas por el taponamiento del circuito de alimentación a causa del aceite cristalizado que se origina por el enfriamiento del ARF. Explicado lo anterior las horas de funcionamiento quedaron de la siguiente manera; hora 61 con 100% diesel, horas 62, 63, 64 y 65 con 100% aceite y la hora 66 con 100% diesel. Pasando cierto tiempo la hora 67 funcionó con 100% diesel, las horas 68, 69, 70 y 71 funcionó con 100% aceite y la hora 72 con 100% diesel, durante lo transcurrido también hubo presencia de temperaturas altas las cuales ocurrieron en las horas 62 y 67 en el cabezote y en la hora 71 en el escape. Adicionalmente tuvimos una avería que consistía en la ruptura de un extremo del serpentín de cobre, por lo que tuvimos que detener el motor por unos instantes hasta lograr solucionarlo y también nos encontramos con una abrazadera mal puesta, en ambas situaciones tuvimos una reducción considerable de voltaje, que se logró superar gracias a la intervención del grupo.



Figura 3. 23 Ubicación de la bomba eléctrica.

Fuente: Autores

- 28 de Enero del 2013. Iniciando con el funcionamiento se rompe el otro extremo del serpentín, esta nueva avería se solucionó sin ningún problema al igual que la anterior, ya que se adaptó la manguera en el punto de rotura de dicho elemento, las altas temperaturas se presentaron en el escape durante todo el funcionamiento y luego de transcurrido las horas 73, 74 y 75 se detiene el motor a causa de la rotura definitiva del escape, provocado por la eliminación de un punto de apoyo del mismo y la constante vibración de todo el conjunto del generador. Se detiene la experimentación hasta solucionar este gran inconveniente.
- 29 de Enero del 2013. A la necesidad de que se reemplazara el tubo de escape por uno nuevo, se realizó una variación en la adaptación del sistema de alimentación, que hace que el diesel también pase por el serpentín, paralelamente se reemplazó el escape por uno nuevo, esta vez se conservaron todos los puntos de apoyo de fábrica para evitar nuevamente la misma rotura, haciendo que las siguientes horas de funcionamiento se definieran de la siguiente manera; la hora 76 con 100% diesel, la hora 77 con 100% aceite y la hora 78 con 100% diesel, en esta última se nota un incremento en la temperatura del cabezote, luego de transcurrido el periodo de descanso se continuó con la experimentación, utilizando en la hora 79 un 100% de diesel, en las horas 80, 81, 82 y 83 con 100% aceite y la hora 84 con 100% diesel, registrando altas temperaturas en el cabezote en las horas 79, 80 y 82, adicionalmente con

pequeñas variaciones de voltaje que aún se mantienen en rango e inestabilidad en el sistema, adicionalmente hay presencia de pequeñas fugas por rotura de la cañería y de pernos del motor, pudimos notar la reducción de altas temperaturas en el escape, esto se debe nada más que al remplazo de dicho elemento, ya que aún no acumula la suficiente cantidad de carbonilla que por lo general es la que produce un incremento de temperatura. El problema de rotura de pernos nos llevará cierto tiempo, cuando esto se solucioné se retomará la experimentación.

- 1 de Febrero del 2013. Transcurrido más de un día de reparación del problema anterior se continuó con el funcionamiento utilizando 100% diesel en la hora 85 y 100% de aceite residual en las horas 86, 87 y 88 con voltajes muy variados (el motor oscilaba de forma indefinida), durante este punto de experimentación se notaban varios defectos que consistían en la presencia de altas temperaturas en el cabezote y en el escape, todo esto ocurrió desde la hora 85 hasta la hora 88 es decir a partir que se retomó la experimentación, adicionalmente en la ultima hora se comenzó a visualizar pequeñas chispas que salían en el escape, por estos contundentes motivos se detuvo el motor para hacer el análisis de los elementos en el estado que se encontraba y determinar con pruebas definitivas los beneficios de nuestra tesis y si hay consecuencias darles soluciones para que estas no afecten mayormente y si fuese posible eliminarlas por completo.

3.8.1 CONSTRUCCIÓN DEL TUBO DE ESCAPE DEFINITIVO

Como idea principal se sostuvo que el tubo de cobre debería ir envuelto en el tubo de escape, para que así se dieran dos de los tres efectos principales que se dan en la transferencia de calor, que son el fenómeno de la conducción que consiste en la transferencia de calor que se produce a través de un medio estacionario que puede ser un sólido o un fluido cuando existe un gradiente de temperatura que se da entre las superficies del tubo de escape y la del serpentín de cobre, y el otro fenómeno que es la convección, la misma que consiste en la transferencia de

calor entre un sólido y un fluido (líquido o gas) en movimiento constante o variable cuando los mismos están a diferentes temperaturas, este último se da entre los gases de escape y el tubo de escape y también entre el serpentín y la mezcla del aceite residual de frituras y el diesel.

Este diseño aprovecha en gran porcentaje la energía del tubo de escape, pero para aprovecharla aún más se dispuso mejorar el diseño recubriendo el mismo con fibra de vidrio, para que el calor se conserve de forma más eficiente y del mismo modo mejorar el precalentamiento del fluido utilizado como combustible alterno.



*Figura 3. 24 Adaptación definitiva en el tubo de escape.
Fuente: Autores*

3.8.2 AUMENTO DE LA CANTIDAD DE ACEITE EN LA MEZCLA

La cantidad de aceite que se utiliza como combustible alterno era determinado por el comportamiento del generador, es decir su oscilación y voltaje generados deben mantenerse en un rango moderado o al menos en el mínimo, y conforme íbamos encontrando fallas paralelamente se buscaría la solución para hacerlo funcionar de una forma adecuada, según nuestra experimentación se fue aumentando de a poco la cantidad de aceite residual para así analizar su comportamiento y ver qué cambios se daban conforme esto se seguía realizando, a continuación se encuentra una tabla con la cantidad de aceite residual de frituras que había en la mezcla y las soluciones que se pusieron en marcha para que el funcionamiento del motor se mantenga estable.

Tabla 3. 2 Tabla de porcentajes de aceite residual y diesel con las respectivas adaptaciones realizadas para lograr un funcionamiento estable del motor.

Fuente: Autores

% ACEITE RESIDUAL	% DIESEL	SOLUCIONES
0	100	Generador estándar
10	90	Sólo Adaptación
20	80	
30	70	
40	60	
50	50	Bomba eléctrica Conectada al generador
60	40	Bomba eléctrica Conectada a una batería ó Aire comprimido en el reservorio
70	30	
80	20	
90	10	
100	0	



Figura 3. 25 Mezclas de diesel con aceite residual.

Fuente: Autores

3.8.3 COMO SE TOMARON LAS TEMPERATURAS DEL MOTOR USANDO ACEITE Y DIESEL COMO COMBUSTIBLE

Las medidas de temperatura se realizaron de forma similar tanto en la primera prueba solo con diesel así como en la segunda prueba utilizando el combustible alternativo, en ambos casos se prosiguieron a medir los siguientes puntos:

- Temperatura ambiente
- Temperatura de la admisión de aire
- Temperatura del cabezote
- Temperatura de los gases de escape

Todas estas mediciones se realizaron exactamente en el mismo lugar y bajo las mismas condiciones, y se medían transcurrida cada hora, una vez puesto en marcha el generador, deteniendo el mismo en solo dos ocasiones, la primera que se la realizaba pasando el medio día y la segunda que se la realizaba al final de la jornada.

3.9 ARMADO Y DESARMADO DEL GENERADOR HDY-2500L

Para este proceso se divide al generador HDY-2500L en las siguientes partes:

- El generador eléctrico
- El motor diésel
- El sistema de alimentación.



*Figura 3. 26 Partes del generador HDY-2500L.
Fuente: Autores*

El generador eléctrico, constituye el generador propiamente dicho y el panel donde se encuentran las salidas de energía además del voltímetro analógico.

El motor está formado por el block, cabezote, y todas sus partes móviles.

El sistema de alimentación formado por los tanques de combustible (Diésel y ARF), las conexiones con mangueras y el serpentín ubicado en el tubo de escape del motor.

Se consideran estas tres divisiones para facilitar la comprensión del funcionamiento de cada una de sus partes.

3.9.1 DESARMADO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Cerramos todas las llaves de paso.



*Figura 3. 27 Llaves de paso.
Fuente: Autores*

Aflojamos las abrazaderas, además desacoplamos las cañerías que comunican a los depósitos de combustible con el motor y el retorno hacia los depósitos de combustible, teniendo cuidado con el derramamiento de combustible que esto ocasiona.



*Figura 3. 28 Cañerías del sistema de alimentación.
Fuente: Autores*

De ser necesario, procedemos a desmontar los depósitos de combustible, en el caso del depósito de ARF se corta la amarra y se extrae; en el caso del depósito de diésel se extraen los tornillos que lo sujetan, se retira la barra posterior que a su vez también contiene la bomba de ARF y el depósito se lo retira por la parte de atrás del motor.



Figura 3. 29 Componentes del sistema de alimentación.
Fuente: Autores

3.9.2 DESARMADO DEL MOTOR DIESEL

- 1) Desacoplamos la admisión y extraemos el tubo de escape.



*Figura 3. 30 Admisión y tubo de escape.
Fuente: Autores*

- 2) Retiramos la protección del volante motor además de extraer la varillita del descompresor.



*Figura 3. 31 Protección del volante motor y varillita del descompresor.
Fuente: Autores*

3) Se aflojan los pernos y se retira la tapa de válvulas.



Figura 3. 32 Tapa de válvulas.

Fuente: Autores

4) Extraemos la cañería de alta presión de combustible y la bomba mecánica de combustible, teniendo precaución con un pequeño embolo que se encuentra allí alojado.



Figura 3. 33 Cañería de alta presión y bomba mecánica.

Fuente: Autores

- 5) Procedemos a retirar las tuercas del cabezote (en este caso los pernos están unidos al bloque motor)

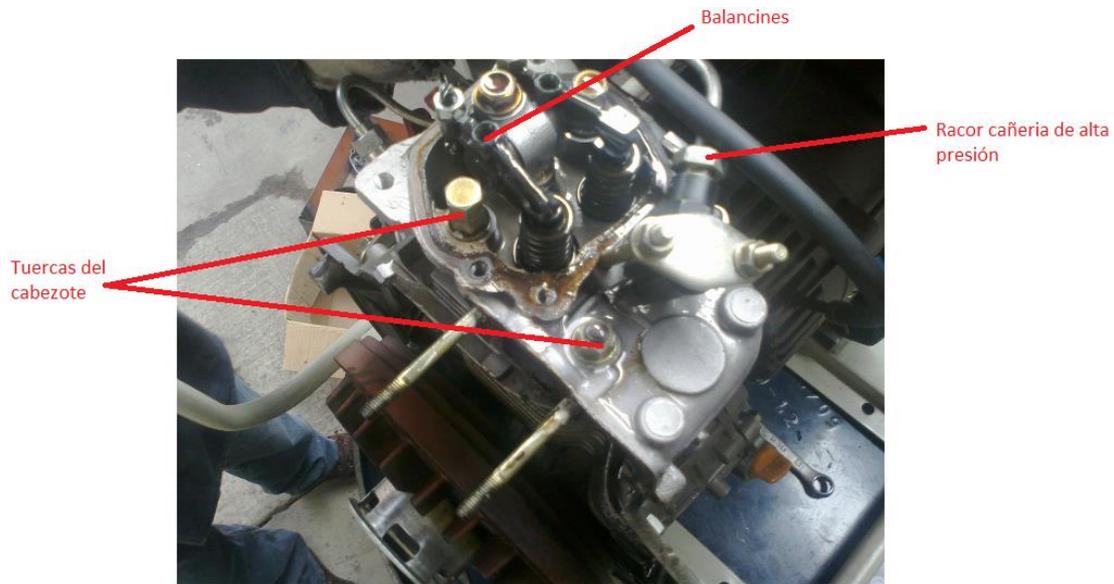


Figura 3. 34 Posición de las tuercas del cabezote.
Fuente: Autores

- 6) Se extrae el cabezote con sus componentes, una vez que se separa un poco el cabezote del bloque motor, se puede extraer los balancines, los empujadores, una vez extraído se retira el empaque de cobre cuidadosamente.



Figura 3. 35 Empaque de cobre.
Fuente: Autores

- 7) Se retira la tapa protectora del conjunto generador eléctrico y trabando el volante de inercia, se extrae el único perno que junta los ejes del generador eléctrico con el motor diesel.



Figura 3. 36 Perno que junta los ejes del generador eléctrico con el motor diesel.
Fuente: Autores

- 8) Se extrae la tuerca que une al volante de inercia con el cigüeñal y con ayuda de un extractor se retira el volante de inercia teniendo precaución con la chaveta.



Figura 3. 37 Volante de inercia.
Fuente: Autores

9) Se extrae el aceite del motor diesel.



Figura 3. 38 Extracción del aceite motor.

Fuente: Autores

10) Se aflojan los pernos que comunican al conjunto del bloque motor con el generador, dada su similitud a los pernos que comunican al motor con la caja de cambios en los vehículos se los denominara pernos de la campana, en el que se incluirá un perno hacia la parte central que cumple con la misma función.

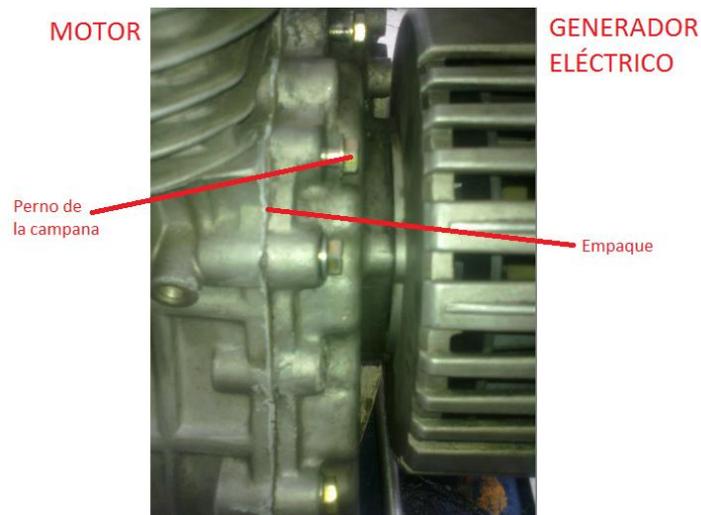


Figura 3. 39 Ubicación de los pernos de la campana.

Fuente: Autores

11) Se retiran las tuercas que unen las bases de goma con el motor y el soporte, extrayendo dichas bases, valiéndonos de tacos de madera se apoya al motor en ellos, además con la ayuda de un martillo y palancas se extrae el conjunto del motor, este último paso se debe a que la unión de ejes entre la parte generador eléctrico y el motor diesel es cónica, se debe tener precaución ya que en el variador de avance que tiene allí, se encuentra un pequeño bocín.



Figura 3. 40 Base de goma.
Fuente: Autores

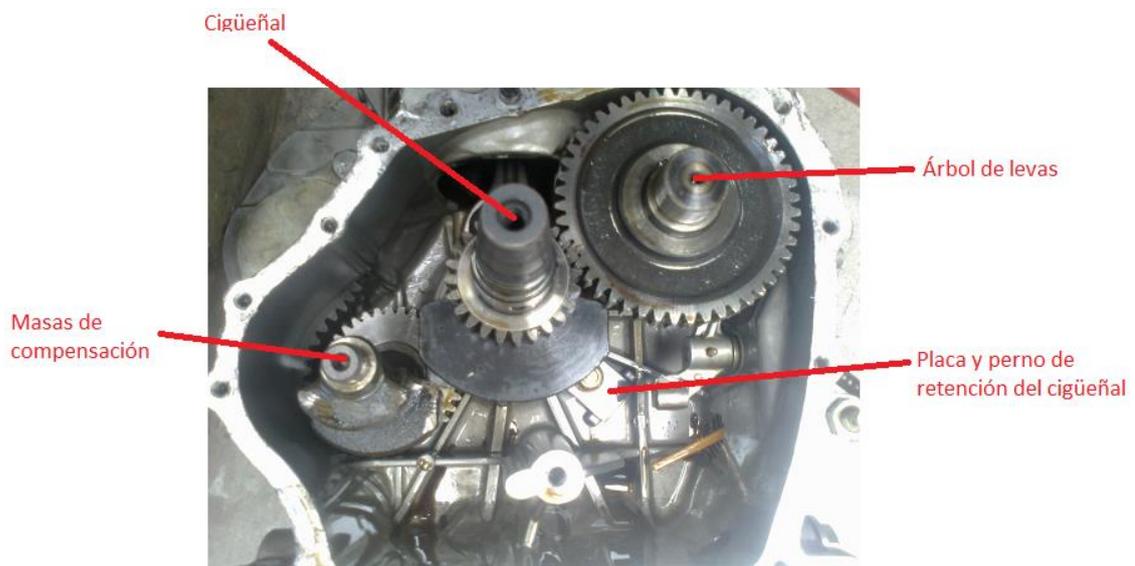


Figura 3. 41 Partes internas del motor diesel.
Fuente: Autores

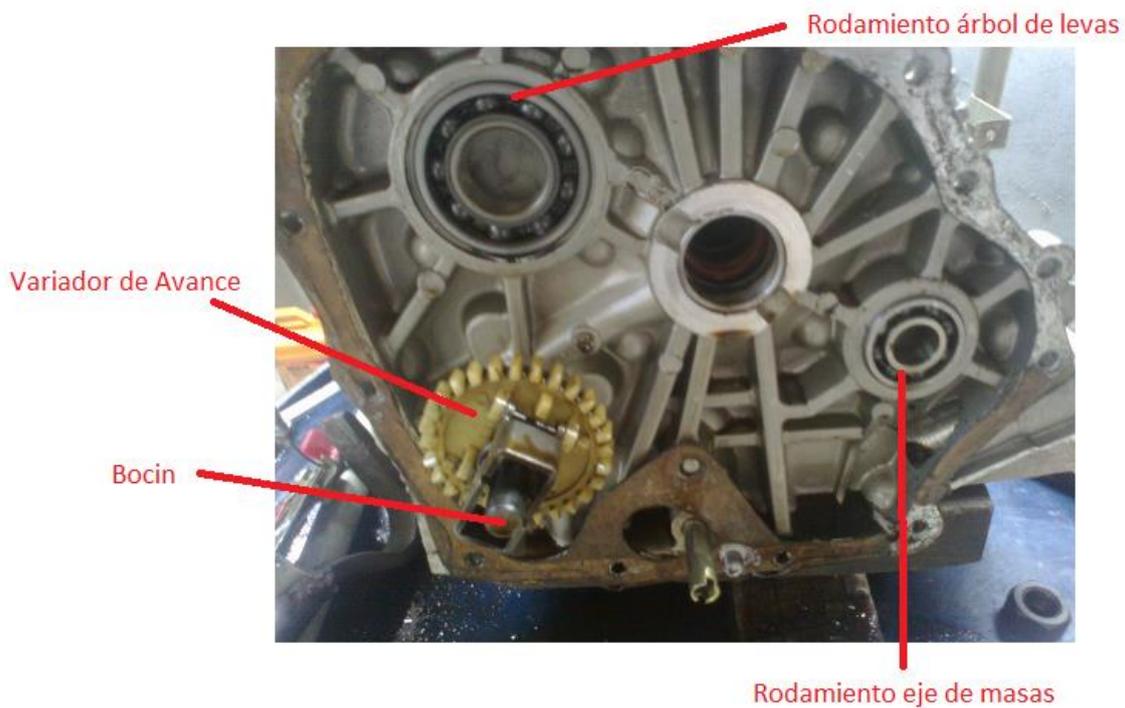


Figura 3. 42 Partes internas del motor diesel.
Fuente: Autores

12) Una vez desacoplado extraemos el árbol de levas directamente, teniendo cuidado con los taqués allí alojados que son los encargados de transmitir el movimiento de las levas hacia las varillas empujadoras.



Figura 3. 43 Árbol de levas, varillas empujadoras y taqués.
Fuente: Autores

13) Se extrae otro eje allí alojado que posee unas masas de compensación.



Figura 3. 44 Masas de compensación.
Fuente: Autores

14) Se retira los pernos que unen a la biela con su tapa, y se extrae el pistón junto con su biela por la parte superior.



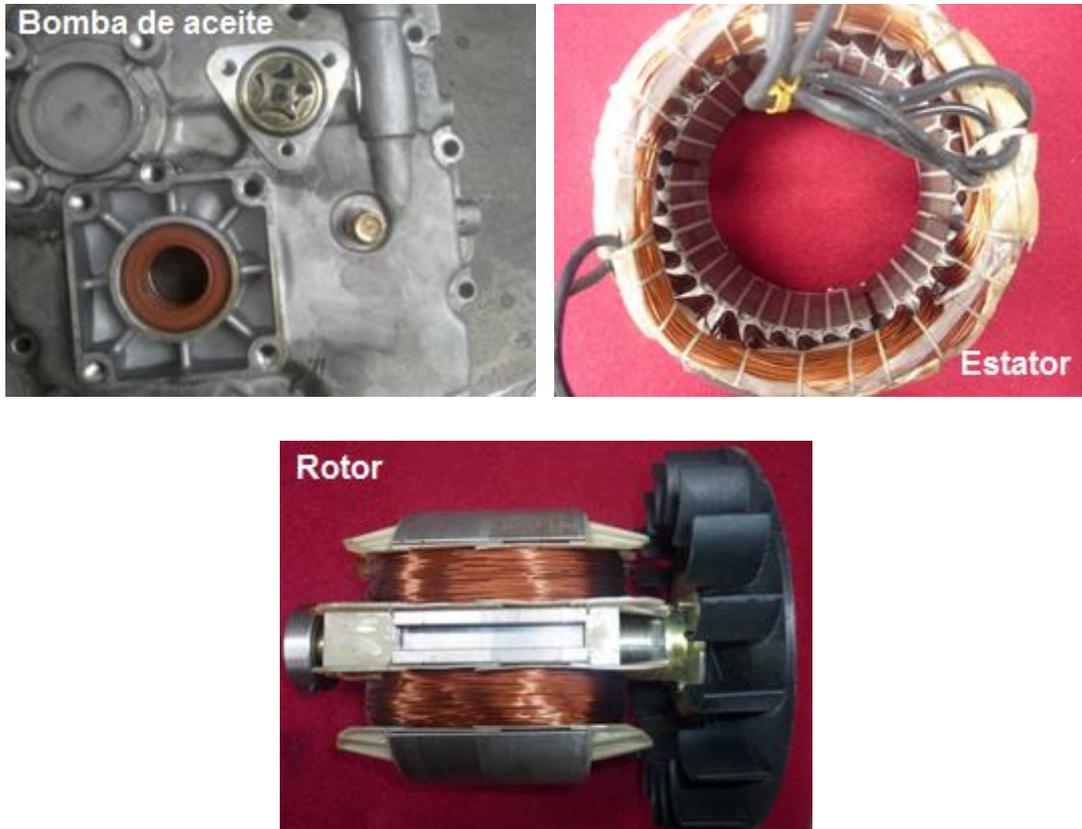
Figura 3. 45 Pistón.
Fuente: Autores

15) Extraemos un pequeño perno que retiene al cigüeñal contra el bloque motor y se extrae el cigüeñal.



Figura 3. 46 Cigüeñal.
Fuente: Autores

Con fines de aprendizaje se desarmo la parte de la bomba de aceite del motor#1 y las partes componentes del generador eléctrico que se muestran brevemente a continuación.



*Figura 3. 47 Bomba de aceite, estator y rotor.
Fuente: Autores*

3.9.3 ARMADO DEL MOTOR DIESEL

Se procede de forma inversa teniendo en cuenta lo siguiente:

- 1) Se lavan con gasolina todas las partes, además para el armado se usa aceite nuevo, se retira el filtro de aceite y se lo lava ya que es únicamente una pequeña malla.



Figura 3. 48 Filtro de aceite y aceite nuevo.
Fuente: Autores

- 2) Se realizan nuevos empaques en papel victoria para la parte de la campana y la admisión, los mismos que serán unidos con silicón automotriz.



Figura 3. 49 Nuevos empaques.
Fuente: Autores

- 3) Se usa LOCTITE en las uniones con pernos ya que en muchos casos por exceso de vibración da como resultado la salida de los mismos.



Figura 3. 50 Colocación de LOCTITE.
Fuente: Autores

- 4) En cuanto a los pares de apriete los especificados en el MANUAL DE OPERACIÓN incluido con el motor son:
- a. Tuerca de unión Cigüeñal-Volante motor: 120-140 N.m
 - b. Cabezote: 55-60 N.m
 - c. Biela: 40-45 N.m

OBSERVACIÓN: Las tuercas a las que se supone se debe dar ese apriete no están dispuestas de manera tal que se acceda con la herramienta adecuada para dar el torque adecuado por lo cual se utiliza de referencia únicamente.

- 5) Los piñones del cigüeñal, árbol de levas y compensador tienen unas marcas que deben coincidir.



Figura 3. 51 Marcas del compensador de masa.
Fuente: Autores



Figura 3. 52 Marcas del compensador de masa con respecto al cigüeñal.
Fuente: Autores



Figura 3. 53 Marcas en el árbol de levas.
Fuente: Autores



Figura 3. 54 Marca del cigüeñal con respecto al árbol de levas.
Fuente: Autores



Figura 3. 55 Coincidencia de marcas.
Fuente: Autores

- 6) Se debe comprobar especialmente que el bocín del variador de avance, los taqués, el embolo de la bomba de combustible, balancines queden en su lugar.
- 7) Se deben calibrar las válvulas, para realizar esta operación nos ayudamos del calibrador de láminas y según el dato especificado en el MANUAL DE OPERACIÓN, la calibración se debe hacer en frio y debe ser entre 0.10-0.15 mm.



*Figura 3. 56 Calibración de válvulas.
Fuente: Autores*

3.10 OBTENCIÓN DE LA CARBONILLA DEL GENERADOR HDY-2500L

3.10.1 FUNCIONAMIENTO CON DIESEL

Una vez concluida las 100 horas de funcionamiento con diesel, continuamos con el desarmado del motor para la respectiva extracción de la carbonilla y su análisis según el aspecto del mismo.

La carbonilla obtenida era de tonalidad gris y contextura un tanto suave o frágil al tacto, es decir su extracción fue muy sencilla ya que esta sustancia caía con solo rasparla levemente, logrando alcanzar un tiempo aproximado de extracción de unos 6 a 7 minutos, el peso de la carbonilla era igual a 2 gr.



Figura 3. 57 Recolección de carbonilla.
Fuente: Autores

3.10.2 FUNCIONAMIENTO CON ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS.

A diferencia de la carbonilla formada por el uso del diesel la del aceite residual de frituras fue extraída pasando solamente las 88 horas de funcionamiento (debido al sobrecalentamiento del motor), pero su respectivo análisis fue realizado bajo la misma condición y utilizando la misma herramienta.



Figura 3. 58 Obtención de carbonilla.
Fuente: Autores

La carbonilla obtenida era de color negro y contextura muy dura al tacto, sumamente difícil de extraer ya que la misma se encontraba muy adherida a la superficie del pistón y del cabezote, la cantidad era mayor tanto así que el pistón salió con mucha dificultad del cilindro debido al exceso de carbonilla presente, su extracción fue un tanto compleja porque en este caso se logró sacar toda la carbonilla en un tiempo aproximado de 90 minutos, el peso de la carbonilla era igual 1,7 gr.



***Figura 3. 59 Calibración de válvulas.
Fuente: Autores***

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE GASES DE ESCAPE Y RESULTADOS OBTENIDOS CON LA APLICACIÓN DEL ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS.

4.1 INTRODUCCION

En el presente capitulo, se explicara los graves efectos y consecuencias que tiene los principales gases contaminantes productos de la combustión en la salud de los seres humanos, ya que los mismos son perjudiciales a corto o largo plazo; además se muestra los resultados de la medición de gases de escape realizados al generador HDY-2500L, en el Centro de Estudios Ambientales de la Universidad de Cuenca.

Los principales gases contaminantes son: El monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los dióxidos de azufre, sus efectos nocivos en la salud del ser humano serán expuestos a lo largo del capítulo.



*Figura 4. 1 Generación de humo contaminante
Fuente: Autores*

4.2 MONOXIDO DE CARBONO

Es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico, su fórmula química es CO, este gas no causa irritación ni tos pero causa la muerte cuando se respira en niveles elevados. En ambientes de poco oxígeno se produce cuando se queman materiales combustibles como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera, además las chimeneas, las calderas, los calentadores de agua y los aparatos domésticos que queman combustible, también pueden producirlo si no están funcionando correctamente. Los vehículos con el motor encendido también lo generan²⁴.

El monóxido de carbono disminuye la cantidad de oxígeno que llega al cerebro, corazón y el resto del cuerpo, lo cual dificulta la función celular.

4.2.1 EFECTOS EN LA SALUD

Los siguientes efectos se manifiestan a corto plazo sobre la salud, o poco tiempo después de la exposición al monóxido de carbono:

- El respirarlo puede causar dolor de cabeza, mareo, sensación de desvanecimiento y cansancio.
- A niveles más altos la exposición puede causar somnolencia, alucinaciones, convulsiones y pérdida de conocimiento.
- Puede causar cambios en la memoria y en la personalidad, confusión mental y pérdida de visión.
- La exposición extremadamente alta, puede causar una disminución de su capacidad para transportar oxígeno en la sangre debido a que la hemoglobina toma el CO y lo reparte en lugar de oxígeno, además puede causar un color rojo brillante en la piel y las membranas mucosas, dificultad respiratoria, colapso, convulsiones, coma y la muerte.

Los síntomas clínicos de un envenenamiento leve no son específicos y pueden imitar a los de una enfermedad viral no específica, con vómitos, dolor de cabeza, malestar, debilidad, fatiga y falta de respiración. Los síntomas se intensifican si la persona está haciendo ejercicio o tiene el corazón y los pulmones débiles.

²⁴ <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398&idsec=1573>

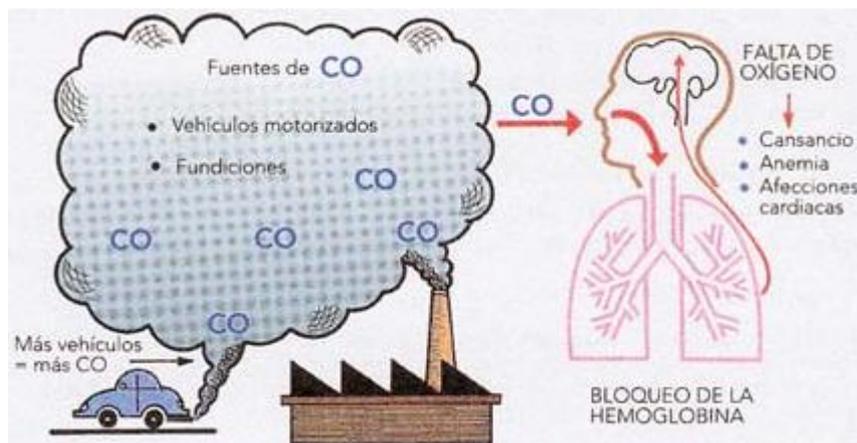


Figura 4. 2 El monóxido de carbono y la salud.

Fuente: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c24_t02_imag.htm

Tabla 4. 1 Efectos del monóxido de carbono a diferentes concentraciones.

Fuente: <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398&idsec=1573>

Concentración de monóxido de carbono	Efecto
0-229 mg/m ³ (0-200 ppm)	Ligero dolor de cabeza en algunos casos
10 mg/m ³ (8,7 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 8 horas
30 mg/m ³ (26 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante una hora
34,4 mg/m ³ (30 ppm)	La exposición diaria a esta concentración es equivalente a fumar 20 cigarrillos al día
40,1 mg/m ³ (35 ppm)	Las personas que tienen enfermedades cardíacas no deben exponerse a niveles superiores a esta concentración
60 mg/m ³ (52 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 30 minutos
100 mg/m ³ (87 ppm)	No se excede el nivel carboxihemoglobina del 2.5 %, aun cuando un sujeto normal realice ejercicio ligero o moderado durante 15 minutos

115 mg/m ³ (100 ppm)	Se informó del primer indicio de angina en sujetos que hacían ejercicio con cardiopatía coronaria expuestos a esta concentración
229-458 mg/m ³ (200-400 ppm)	Después de 5-6 horas se puede observar un leve dolor de cabeza, náuseas, vértigo y síntomas mentales
458-802 mg/m ³ (400-700 ppm)	Después de 4-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, incoordinación muscular, debilidad, vómitos y colapso
802-1260 mg/m ³ (700-1100 ppm)	Después de 3-5 horas se puede observar un fuerte dolor de cabeza, debilidad, vómitos y colapso
1260-1832 mg/m ³ (1100-1600 ppm)	Después de 1.5-3 horas se puede observar coma. (la respiración es aún bastante buena a no ser que el envenenamiento se haya prolongado)
1832-2290 mg/m ³ (1600-2000 ppm)	Después de 1-1.5 horas hay posibilidad de muerte
5726-11452 mg/m ³ (5000-10000 ppm)	Después de 2-15 minutos se puede producir la muerte

4.3 DIOXIDO DE AZUFRE

Es un gas incoloro de olor acre y penetrante. Bajo presión es un líquido y se disuelve fácilmente en agua. No es inflamable, originado principalmente de actividades tales como quema de carbón o aceite en centrales eléctricas o de la fundición del cobre.

La permanencia de una sustancia toxica en el aire no siempre conduce a una exposición. Únicamente se está expuesto a una sustancia cuando se entra en contacto con ella. Se puede estar expuesto al inhalar, comer o beber la sustancia, o por contacto con la piel²⁵.

Cuando se está expuesto al dióxido de azufre, hay muchos factores que determinan si afectará adversamente. Estos factores incluyen la cantidad, la

²⁵ <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180331&idsec=1573>

duración y de la forma como entró en contacto con esta sustancia. También se debe considerar las demás sustancias químicas a las que se está expuesto, edad, sexo, dieta, características personales, estilo de vida y condición de salud.

La ruta principal de exposición al dióxido de azufre es al respirar el aire que lo contiene. Pero también se puede estar expuesto a través del contacto de esta sustancia con la piel.

4.3.1 EFECTOS EN LA SALUD

Al respirar aire que contiene dióxido de azufre, éste pasa al interior del cuerpo a través de la nariz y los pulmones. Llega fácil y rápidamente a la corriente sanguínea a través de los pulmones. Una vez dentro del cuerpo, se degrada a sulfato y es excretado en la orina.

Los estudios realizados en animales expuestos al dióxido de azufre han descrito efectos respiratorios similares a los observados en seres humanos. La exposición de cobayas a niveles bajos ($2.600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -1 ppm-), alteró el ritmo respiratorio haciendo la respiración menos profunda. La exposición a concentraciones más altas produce síntomas más graves, tales como disminución de la frecuencia respiratoria, inflamación o infección de las vías respiratorias y destrucción de áreas del pulmón.

La mayoría de los efectos de la exposición en adultos (por ejemplo, dificultad para respirar, alteración del ritmo respiratorio, y ardor de la nariz y la garganta) también es probable que se produzcan en niños, pero se desconoce si los niños son más susceptibles que los adultos²⁶.

Pero los niños pueden estar expuestos a cantidades de dióxido de azufre mayores que los adultos porque inhalan más aire por unidad de peso corporal que los adultos. El estado de salud de las vías respiratorias de la persona y no la edad determinan la susceptibilidad a los efectos de respirar dióxido de azufre.

²⁶ IMD: Referencia 25

Estudios de larga duración de grupos numerosos de niños han sugerido posibles asociaciones entre la contaminación con dióxido de azufre y síntomas respiratorios o dificultad para respirar. Los niños expuestos a contaminación con dióxido de azufre pueden desarrollar más problemas respiratorios a medida que crecen, pueden tener que visitar con más frecuencia al servicio de urgencias a causa de episodios de respiración jadeante, y pueden contraer más enfermedades respiratorias que lo que es típico en niños de su edad.

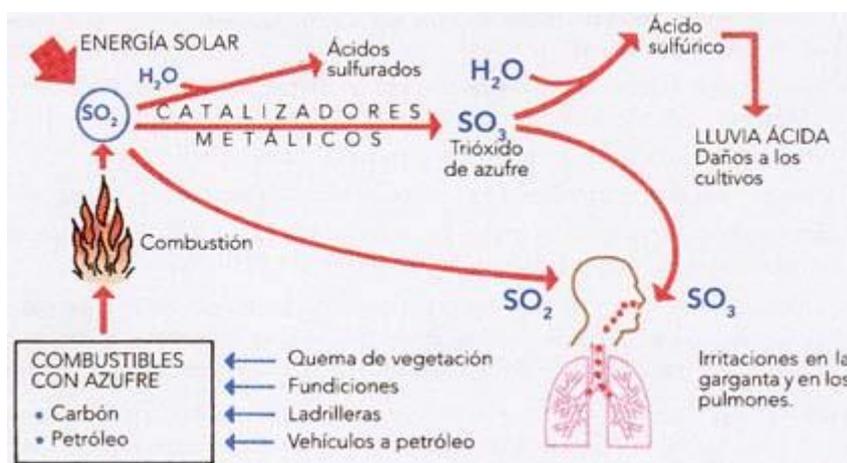


Figura 4. 3 Los óxidos de azufre y la salud.

Fuente: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c24_t04_imag.htm

Tabla 4. 2 Efectos del dióxido de azufre a diferentes concentraciones.

Fuente: <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180331&idsec=1573>

Concentración de dióxido de azufre	Efecto
520 ppm) μg/m ³ (0,2	Los individuos normales y asmáticos (leves, moderados, graves) y atópicos más sensibles mostraron un aumento significativo de la resistencia específica de la vía aérea (sRaw), pero no clínicamente significativos debido a que no había síntomas respiratorios.
1,7 ppm) μg/m ³ (0.00053	Concentración en aire asociadas con un aumento del riesgo para toda la vida por leucemia de 1/100.000
655 ppm) μg/m ³ (0,25	Voluntarios con asma leve sometidos a ejercicio moderado y expuestos durante 75 minutos no mostraron aumento considerable de la sRaw
3.200 μg/m ³ (1ppm)	Aparición de casos de leucemia en exposiciones de 40 años.

4.800-15.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1,5-4,7 ppm)		Concentración en aire asociadas con un aumento del riesgo para toda la vida por leucemia de 1/10.000
1.050 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(0,4$	Individuos asmáticos de moderados a graves mostraron después de una exposición de 55 minutos aumentos significativos de la sRaw y de los síntomas respiratorios.
1.300 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(0,5$	Individuos asmáticos leves sometidos a ejercicio y expuestos durante 75 minutos mostraron aumento significativo de la sRaw.
1.300-5.240 $\mu\text{g}/\text{m}^3(0,5-2$ ppm)		La función pulmonar cambia en sujetos asmáticos durante el ejercicio
1.570 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(0,6$	Individuos asmáticos atópicos mostraron después de una exposición de 15 a 55 minutos aumentos significativos de la sRaw y de los síntomas respiratorios.
2.620 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(1$	Individuos asmáticos leves sometidos a ejercicio y expuestos durante 75 minutos mostraron aumento significativo de la sRaw.
5.240 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(2$	Individuos sanos sometidos durante 30 minutos y realizando ejercicio continuo no mostraron cambios en pruebas de función pulmonar.
7.900-13.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3(3-5$ ppm)		Detección del olor
16.000-31.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3(6-12$ ppm)		Puede causar irritación nasal y de la garganta.
21.000-31.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3(8-12$ ppm)		Puede producir irritación conjuntival y lagrimeo
26.000 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(10$	Se puede observar irritación en las vías respiratorias superiores y posibles hemorragias nasales.
52.000 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(20$	Puede causar irritación en los ojos
131.000-262.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3(50-100$ ppm)		Se puede observar irritación grave de los ojos, garganta, tracto respiratorio inferior y lagrimeo, que pueden ser tolerados durante 30 - 60 minutos.
262.000 ppm)	$\mu\text{g}/\text{m}^3(100$	IDLH (Inmediatamente peligroso para la vida y la salud; 30 minutos)

1.049.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (400 ppm)	Concentración mínima letal en aire durante una exposición de 1 minuto.
---	--

4.4 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

No es inflamable y es incoloro a pardo en apariencia a temperatura ambiente y tiene un fuerte olor desagradable. Es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a temperaturas sobre 21°C ²⁷.

Todas las personas están expuestas a pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno en el aire. La exposición a niveles más altos puede producirse en las proximidades de las cocinas de gas, al quemar madera o combustibles o si se fuma.

Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire por los tubos de escape de los vehículos motorizados, en los procesos de combustión del carbón, petróleo, o gas natural, y en tratamientos industriales (soldadura al arco, grabado de metales y detonación de dinamita). Los óxidos de nitrógeno también se usan en combustibles para cohetes, en la nitrificación de compuestos químicos orgánicos y en la manufactura de explosivos.

Los óxidos de nitrógeno se degradan rápidamente en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias comúnmente presentes en el aire. La reacción del dióxido de nitrógeno con sustancias químicas producidas por la luz solar lleva a la formación de ácido nítrico, el principal constituyente de la lluvia ácida. El dióxido de nitrógeno reacciona con la luz solar, lo cual lleva a la formación de ozono y smog en el aire que respiramos.

En las viviendas en las que se quema madera o que usan calentadores y cocinas de gas tienden a tener niveles de óxidos de nitrógeno más altos en su interior comparadas a viviendas que no usan estos combustibles.

²⁷ <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180252&idsec=1573>

El dióxido de nitrógeno es un compuesto muy tóxico, pero las concentraciones que se presentan en las ciudades no son lo suficientemente elevadas para desencadenar efectos agudos de consideración.

4.4.1 EFECTOS EN LA SALUD

Los efectos del NO₂ en la salud humana se centran sobre todo en el aparato respiratorio, habiéndose observado que cuando se supera una concentración media de NO₂ de 190 µg/Nm³ (0,1 ppm) en el 40% de los días, aumenta la frecuencia de las infecciones de las vías respiratorias.

Adicionalmente, determina la inhibición de la depuración mucociliar, la fagocitosis y la respuesta inmunológica en el pulmón, produciendo una disminución de la resistencia del pulmón ante las infecciones. Por último, incrementa la sensibilidad pulmonar a los broncoconstrictores, afectando, por lo tanto, especialmente a las personas asmáticas. Otros efectos son sensación de ahogo y dolor en el pecho.

Los niveles bajos de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. La exposición a bajos niveles también puede producir acumulación de líquido en los pulmones 1 ó 2 días después de la exposición. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede rápidamente producir quemaduras, espasmos y dilatación de los tejidos en la garganta y las vías respiratorias superiores, reduciendo la oxigenación de los tejidos del cuerpo, produciendo acumulación de líquido en los pulmones y la muerte.

Se desconoce si la exposición a dióxido de nitrógeno puede afectar la reproducción en seres humanos.

Se ha comprobado que se necesitan concentraciones superiores a 1880 µg/m³ (1 ppm) para producir daños en adultos sanos²⁸. Estas concentraciones son muy elevadas, por lo tanto, la mayoría de los estudios se han centrado en estudiar los efectos del NO₂ en personas con enfermedades respiratorias preexistentes.

²⁸ IDEM: Referencia 27

Es probable que la exposición a los óxidos de nitrógeno afecte a los niños de la misma manera que a los adultos. Sin embargo, no sabemos si los niños tienen diferente susceptibilidad a los óxidos de nitrógeno que los adultos.

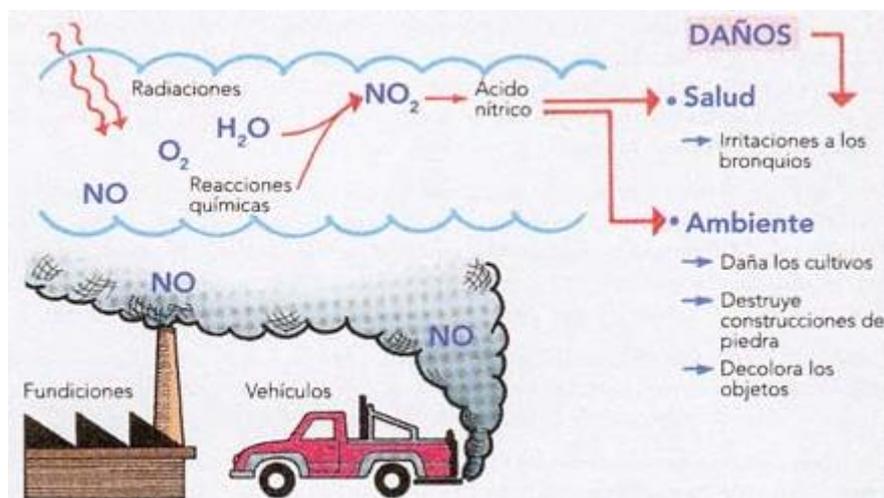


Figura 4. 4 Los óxidos de nitrógeno y la salud.

Fuente: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c24_t03_imag.htm

Tabla 4. 3 Efectos del dióxido de nitrógeno a diferentes concentraciones.

Fuente: <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180252&idsec=1573>

Concentración de dióxido de nitrógeno	Efecto
14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,01 ppm)	Aparición de síntomas leves respiratorios en niños
190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,1 ppm)	Cuando se supera esta concentración media en el 40% de los días suele producirse un aumento de la frecuencia de infecciones en vías respiratorias
200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,11 ppm)	Tras la exposición durante una hora se informó un aumento de reactividad de la vía aérea en varios sujetos expuestos
210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,112 ppm)	Umbral del olor
400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,2 ppm)	Tras la exposición durante dos horas se informó un aumento en la reactividad de la vía aérea en varios sujetos expuestos
470 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,25 ppm)	Se informó de un aumento en la reactividad de la vía aérea no específicos en asmáticos
470-900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,25-0,50 ppm)	Estudios de exposición aguda con asmáticos muestran un aumento en la reactividad de la vía aérea

560 µg/m ³ (0,3 ppm)	Se ha observado respuestas en la función pulmonar bajo exposiciones a esta concentración en asmáticos realizando ejercicio moderado
600 µg/m ³ (0,32 ppm)	Tras la exposición durante 30 minutos se informó de que potenciaba los broncoespasmos inducidos por el ejercicio y la reactividad de la vía aérea a la provocación de aire frío en asmáticos
900 µg/m ³ (0,5 ppm)	Tras la exposición durante una hora se informó de un aumento en la reactividad de la vía aérea en sujetos normales
1.080 µg/m ³ (1 ppm)	Se ha comprobado que se necesita superar esta concentración para producir daños en adultos sanos
18.800-37.600 µg/m ³ (10-20 ppm)	Ligeramente irritante
37.600 µg/m ³ (20 ppm)	IDLH (Inmediatamente peligroso para la vida y la salud; 30 minutos)
≥282.300 µg/m ³ (≥150 ppm)	Se ha informado de muerte por edema pulmonar
327.400 µg/m ³ (174 ppm)	Se ha pronosticado que debería producirse un 50% de mortalidad durante una exposición de una hora

4.5 ANALISIS DE LOS GASES DE COMBUSTION

Tabla 4. 4 Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión utilizando Diesel Comercial.

	Porcentaje de Oxígeno (%O₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO_x)	Concentración de Dióxidos de Azufre (ppm SO₂)
Promedios	19,17	472,65	48,04	15,41	63,45	23,67
Máximos	20,62	663,00	77,00	19,40	96,40	26,00

Tabla 4. 5 Parámetros determinados en el muestreo de Gases de Combustión utilizando ARF.

	Porcentaje de Oxígeno (%O₂)	Concentración de Monóxido de Carbono (ppm CO)	Concentración de Óxido Nítrico (ppm NO)	Concentración de Dióxido de Nitrógeno (ppm NO₂)	Concentración de Óxidos de Nitrógeno (ppm NO_x)	Concentración de Dióxidos de Azufre (ppm SO₂)
Promedios	18,13	962,40	39,08	16,16	55,24	43,06
Máximos	20,51	1061,00	44,00	21,20	65,20	49,00

Tabla 4. 6 Concentración de Gases de Combustión y Comparación con la Normativa Ambiental Vigente utilizando Diesel Comercial.

GAS	Promedio (mg/Nm³)	Limite Según Normativa (mg/Nm³)
Monóxido de Carbono	2011,74	-----
Óxidos de Nitrógeno	443,45	2000
Dióxidos de Azufre	230,25	1500

Tabla 4. 7 Concentración de Gases de Combustión y Comparación con la Normativa Ambiental Vigente utilizando ARF.

Fuente: Tabla 4.4, Tabla 4.5, Tabla 4.6, Tabla 4.7. Revisar anexos Estudios Medioambientales de la Universidad de Cuenca.

GAS	Promedio (mg/Nm³)	Limite Según Normativa (mg/Nm³)
Monóxido de Carbono	2011,74	-----
Óxidos de Nitrógeno	443,45	2000
Dióxidos de Azufre	230,25	1500

Revisar Estudio Medioambiental en Anexo.

CAPITULO 5

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 HISTORIAL DE FUNCIONAMIENTO CON DIÉSEL COMERCIAL

5.1.1 HISTORIAL DE FUNCIONAMIENTO CON DIESEL

5.1.1.1 Fecha: 11 de Diciembre de 2012

En este primer día y durante las siguientes 100 horas de funcionamiento con diésel comercial se establecieron condiciones normales de funcionamiento, para posteriormente comparar dichas condiciones con las de funcionamiento con ARF, sin embargo para este caso tenemos datos muy dispersos tanto para la temperatura de cabezote como para la temperatura en el escape, ya que aún son horas iniciales de funcionamiento

Tabla 5. 1 Correspondiente al día 11 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
9:00 AM	9	17,7	27,8	86,6	173,1	110
10:00 AM	10	19,8	31,9	101,4	181,5	110
11:00 AM	11	19,2	29	91,4	167,3	110
12:00 PM	12	20	31,9	96,2	158,9	110
4:45 PM	13	20,6	34,1	97,6	160,7	100
5:45 PM	14	19,7	32,1	95,8	176,3	110
6:45 PM	15	15,9	28,1	85,8	167,3	110
7:45 PM	16	16	29,3	84,1	180,7	110
		18,61	30,53	92,36	170,73	

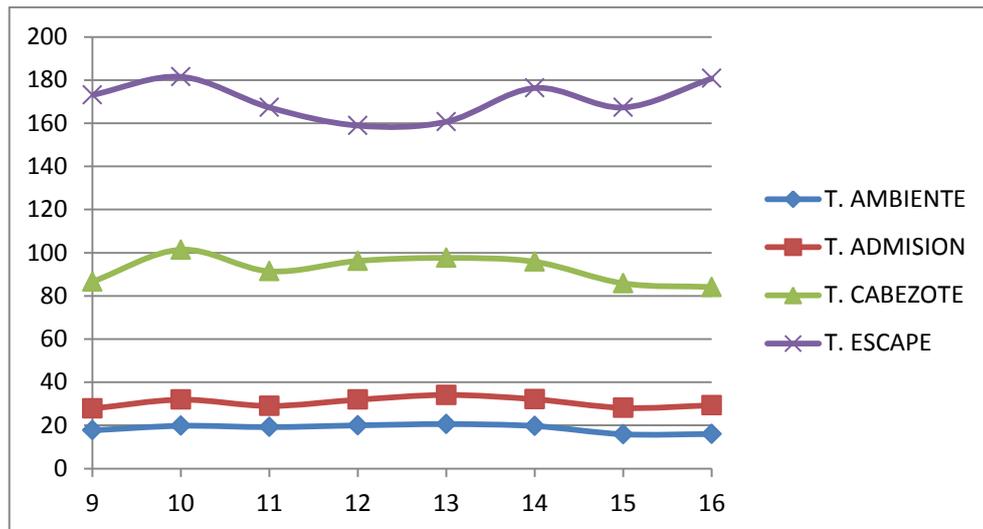


Figura 5. 1 Correspondiente al día 11 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.2 Fecha: 12 de Diciembre de 2012

Las temperaturas en el cabezote se empiezan a estabilizar y tienden a un aumento progresivo, este efecto es ocasionado por la acumulación de carbonilla en la cámara de combustión que aumenta ligeramente la relación de compresión y por ende la temperatura. En el escape aún tenemos datos muy dispersos como para dar un criterio de su estado.

Tabla 5. 2 Correspondiente al día 12 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
7:00 AM	17	16	28	87,9	167	110
8:00 AM	18	17,5	30,3	84,2	180,3	110
9:00 AM	19	18,3	32,4	88,7	167,8	110
10:00 AM	20	20,9	31,4	90,2	180	110
2:00 PM	21	24,4	33	90,2	160,2	100
3:00 PM	22	19,3	34,3	91,7	187	115
4:00 PM	23	21,4	34	92,5	190,4	110-115
5:00 PM	24	19	34	91,6	193,6	110
		19,60	32,18	89,63	178,29	

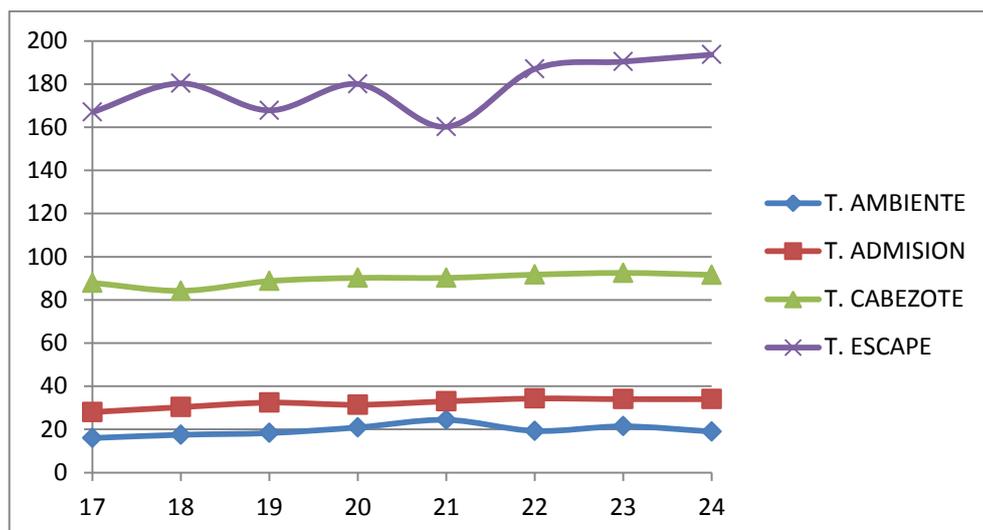


Figura 5. 2 Correspondiente al día 12 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.3 Fecha: 13 de Diciembre de 2012

Se observa una mayor estabilidad en los datos, pero al final del día entre las 32 a 34 horas, notamos un descenso en la temperatura ambiente y presencia de ventisca en el sector, que no afecta a la temperatura del cabezote pero si a la del escape que está más expuesto al ambiente.

Tabla 5. 3 Correspondiente al día 13 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
7:40 AM	25	12	29,2	93,7	187	115
8:40 AM	26	13,8	28,7	94	185,8	110-115
9:40 AM	27	15,9	31,5	98,5	186,2	110
10:40 AM	28	16,4	28,8	95,8	185,8	110
11:40 AM	29	17,8	32,5	99	184,2	112
4:30 PM	30	19,5	33,2	95,4	187,2	110
5:30 PM	31	15,4	28,5	91,6	183,4	120
6:30 PM	32	13,5	29	89,8	162	110
7:30 PM	33	11,4	24,5	93,1	176,6	110
8:25 PM	34	9,4	***	***	***	***
		15,08	29,54	94,54	182,02	

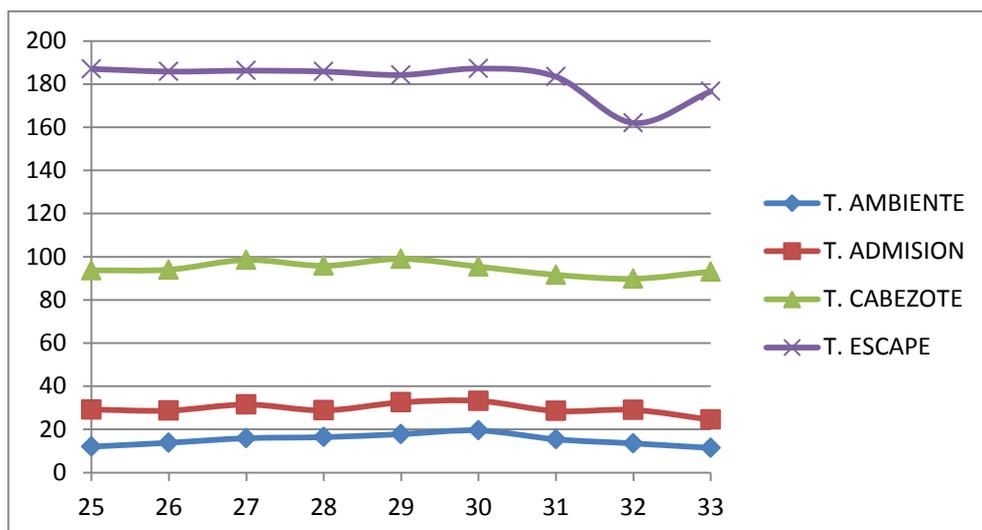


Figura 5. 3 Correspondiente al día 13 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.4 Fecha: 14 de Diciembre de 2012

Se aprecia claramente las variaciones de temperatura en la admisión, cabezote y escape, con respecto a la temperatura ambiente, además de que el promedio en condiciones similares anteriores los valores van aumentando conforme avanzan las horas de trabajo.

Tabla 5. 4 Correspondiente al día 14 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
7:30 AM	35	13,4	25,7	97,3	187,5	115
8:30 AM	36	19,2	28,2	100,7	189,5	110
9:30 AM	37	22	29,6	101,2	190	110
10:30 AM	38	19,2	33,3	103,7	187	100
11:30 AM	39	21,4	38	102	187,5	100
3:10 PM	40	23,1	39	108	199,4	110
4:10 PM	41	20,3	38,6	103	189,1	110
5:10 PM	42	19,5	34,5	104,5	192,2	110
6:10 PM	43	16,4	31,3	102,6	197,2	115
7:10 PM	44	15,4	28,3	100,2	193,1	120
		18,99	32,65	102,32	191,25	

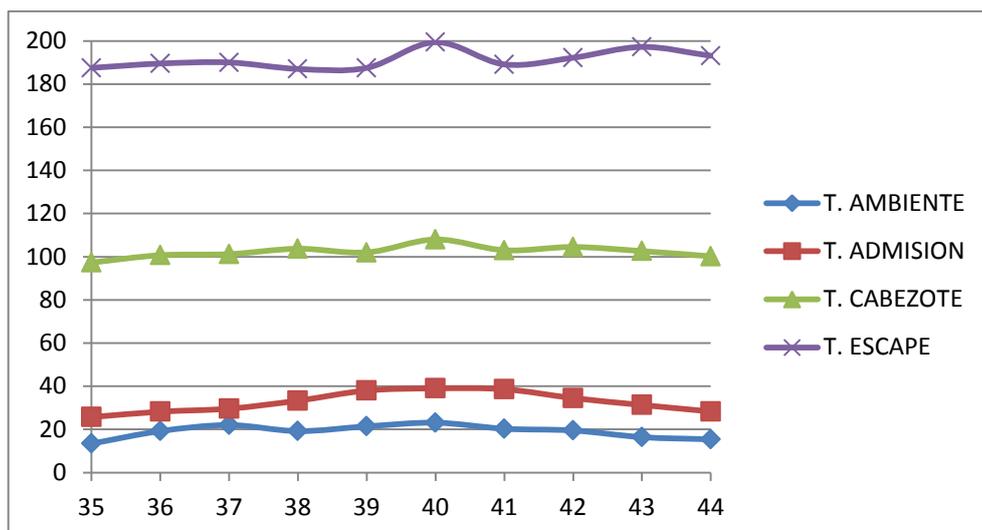


Figura 5. 4 Correspondiente al día 14 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.5 Fecha: 15 de Diciembre de 2012

El muestreo sigue las tendencias anteriores y se va estabilizando en temperaturas ligeramente más altas que las iniciales.

Tabla 5. 5 Correspondiente al día 15 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores.

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
7:30 AM	45	14,5	25,5	102	190,5	120
8:30 AM	46	13,7	28,8	99,5	195,5	120
9:30 AM	47	24,2	29,5	105,4	198	120
10:30 AM	48	23,3	33,5	102,7	190,4	120
11:30 AM	49	24,3	35,4	107,4	194	115
12:30 PM	50	28	38	110,3	195,5	110
1:30 PM	51	19,4	36,3	110,3	194,5	115
2:30 PM	52	19	35,2	103,7	196,1	120
3:30 PM	53	18,2	34,2	105,9	196,1	120
4:30 PM	54	17,4	34,2	103	197,7	120
		20,20	33,06	105,02	194,83	

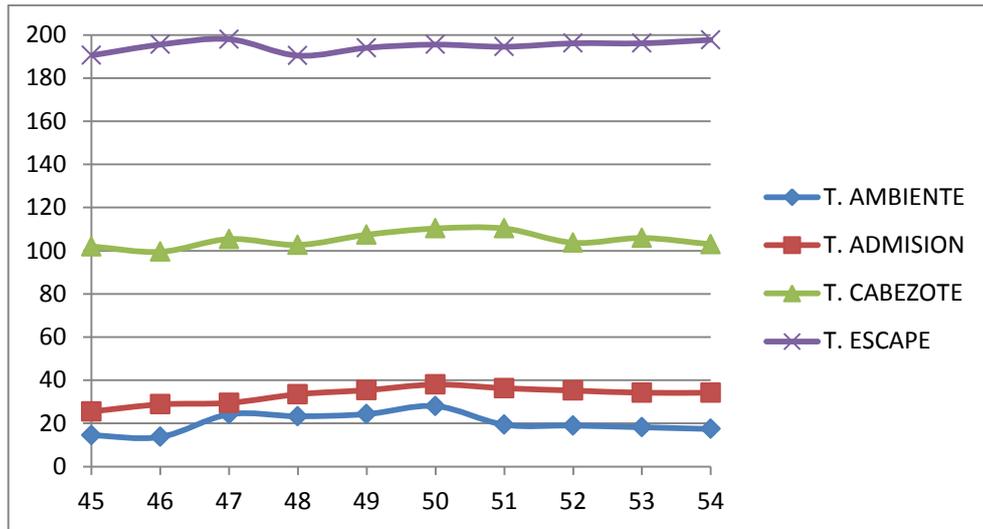


Figura 5. 5 Correspondiente al día 15 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.6 Fecha: 16 de Diciembre de 2012

El muestreo sigue las tendencias anteriores y se va estabilizando dándonos una idea del comportamiento normal del motor.

Tabla 5. 6 Correspondiente al día 16 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores.

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
7:00 AM	55	7,6	23,7	92	186,5	120
8:00 AM	56	10,9	25,8	93,7	188,7	120
9:00 AM	57	16,5	26,2	96	189,2	120
10:00 AM	58	18	27,6	98,2	192,4	120
11:00 AM	59	20	30,6	99,2	193,1	120
1:40 PM	60	24	31,1	102,7	192,7	115
2:40 PM	61	25	33,7	106,7	195	110-115
3:40 PM	62	20,5	33,3	105,7	191,2	120
4:40 PM	63	20	34,7	102,6	193,6	120
5:40 PM	64	19,9	32,1	99,9	192,7	120
		18,24	29,88	99,67	191,51	

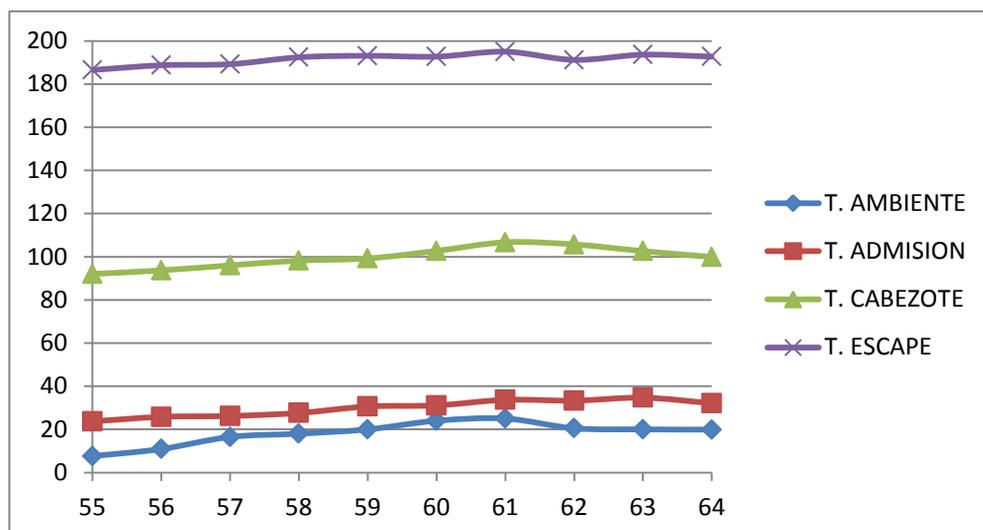


Figura 5. 6 Correspondiente al día 16 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.7 Fecha: 17 de Diciembre de 2012

En este día específicamente notamos una tendencia irregular debido a las variaciones de temperatura ambiente, pero dentro de rangos anteriormente vistos.

Tabla 5. 7 Correspondiente al día 17 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
6:40 AM	65	6,6	16,8	87,1	176	115
7:40 AM	66	11,5	23,9	90	179,3	115
8:40 AM	67	19	25,1	96,9	184,9	115
9:40 AM	68	20,3	26,8	97,1	187	115
10:40 AM	69	20,9	31,8	104,6	189,5	115
11:40 AM	70	20,1	30,1	101,1	188,1	115
3:30 PM	71	19,5	33,7	102,5	190,4	120
4:30 PM	72	19	32,9	105,1	190,3	120
5:30 PM	73	18,5	29,1	103,7	183	115
6:30 PM	74	16,9	27,6	97,8	185	120
7:30 PM	75	12,4	23,8	94,7	179,6	115
8:30 PM	76	11	24,6	93,6	179,6	115
		16,31	27,18	97,85	184,39	

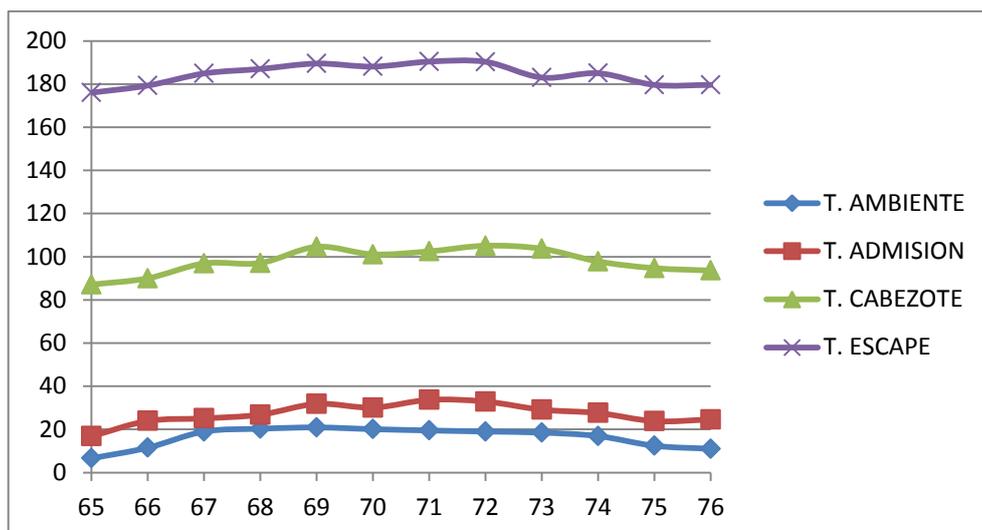


Figura 5. 7 Correspondiente al día 17 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.8 Fecha: 18 de Diciembre de 2012

El muestreo sigue las tendencias anteriores y se va estabilizando dándonos una idea del comportamiento normal del motor.

Tabla 5. 8 Correspondiente al día 18 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
6:00 AM	77	6,4	18,7	87,4	174	110-115
7:00 AM	78	8,8	20	88,4	175,3	115
8:00 AM	79	12,3	25,7	95,7	186,6	115
9:00 AM	80	15,8	23,9	93,3	181,6	115
10:00 AM	81	15,6	23,7	92,1	183,4	115
11:00 AM	82	20,4	28,7	93,7	184,2	115
2:00 PM	83	21	33,5	100,9	188,7	115
3:00 PM	84	18,7	29,6	105,1	185,4	115
4:00 PM	85	18,2	28,7	103	185,2	120
5:00 PM	86	16,8	27,7	101,3	183,4	115
6:00 PM	87	13,4	24,1	98,1	182,1	115
7:00 PM	88	12,1	25,4	97,8	180	115
		14,96	25,81	96,40	182,49	

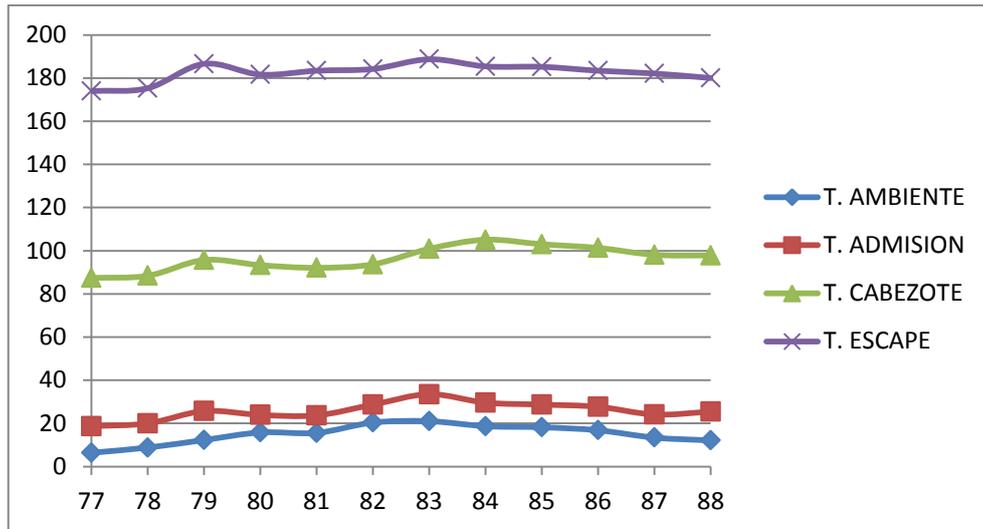


Figura 5. 8 Correspondiente al día 18 de diciembre del 2012.
Fuente: Autores

5.1.1.9 Fecha: 19 de Diciembre de 2012

El muestreo sigue las tendencias anteriores y se va estabilizando dándonos una idea del comportamiento normal del motor.

Tabla 5. 9 Correspondiente al día 19 de diciembre del 2012.

Fuente: Autores

HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
6:10 AM	89	6,9	17	88,3	176,4	115
7:10 AM	90	11,5	24,3	90,1	179,3	115
8:10 AM	91	18	23,8	95,2	182,1	115
9:10 AM	92	20,3	26,8	96,8	186,4	115
10:10 AM	93	21,1	32,6	105,8	191,3	115
11:10 AM	94	23,1	34,2	104,7	192,7	115
2:40 PM	95	20,3	33,7	102,5	190,4	115
3:40 PM	96	19,7	32,9	105,1	190,3	120
4:40 PM	97	18,5	29,1	103,7	183,2	115
5:40 PM	98	16,9	27,6	97,8	184,9	115
6:40 PM	99	12,4	23,8	94,7	179,6	115
7:40 PM	100	11	24,6	93,6	179,6	115
		16,64	27,53	98,19	184,68	

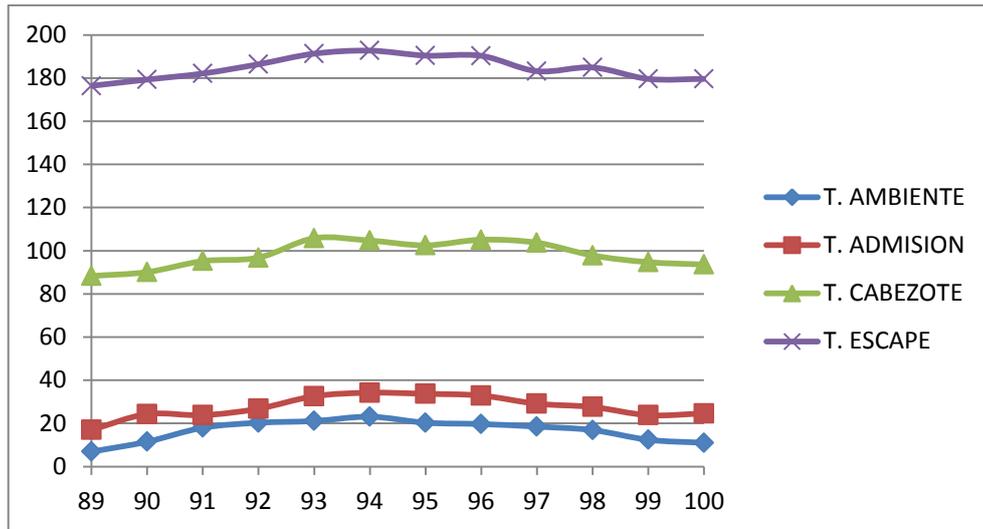


Figura 5. 9 Correspondiente al día 19 de diciembre del 2012.
 Fuente: Autores

5.1.1.10 Resumen diario funcionamiento con Diésel Comercial

En este análisis y para los siguientes se ha tomado como un factor relevante y fácilmente medible a la temperatura. Fijándonos en el comportamiento de este parámetro podemos dar criterios del comportamiento del motor. En esta primera etapa del funcionamiento con Diésel Comercial se ha tratado de establecer condiciones normales de funcionamiento para posteriormente comparar los datos obtenidos y poder compararlos cuando el motor funcione con Aceite Residual de Frituras ARF, a su vez la determinación de rangos de funcionamiento idóneo, para en caso de sobrepasar este rango observar la evolución del mismo y si es necesario detener el proceso. En el resumen diario tenemos los valores promedios del proceso, máximos y mínimos del promedio de los días y que están marcados con color rojo y azul respectivamente además también hemos determinado los valores máximo global y mínimo global que corresponden a los valores que se presentaron durante todo el proceso es decir durante las 100 horas de funcionamiento.

Tabla 5. 10 Correspondiente al resumen diario con diesel comercial.

Fuente: Autores

DIA	FECHA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE
1	11/12/2012	18,61	30,53	92,36	170,73
2	12/12/2012	19,60	32,18	89,63	178,29
3	13/12/2012	15,08	29,54	94,54	182,02
4	14/12/2012	18,99	32,65	102,32	191,25
5	15/12/2012	20,2	33,06	105,02	194,83
6	16/12/2012	18,24	29,88	99,67	191,51
7	17/12/2012	16,31	27,18	97,85	184,39
8	18/12/2012	14,96	25,81	96,40	182,49
9	19/12/2012	16,64	27,53	98,19	184,68

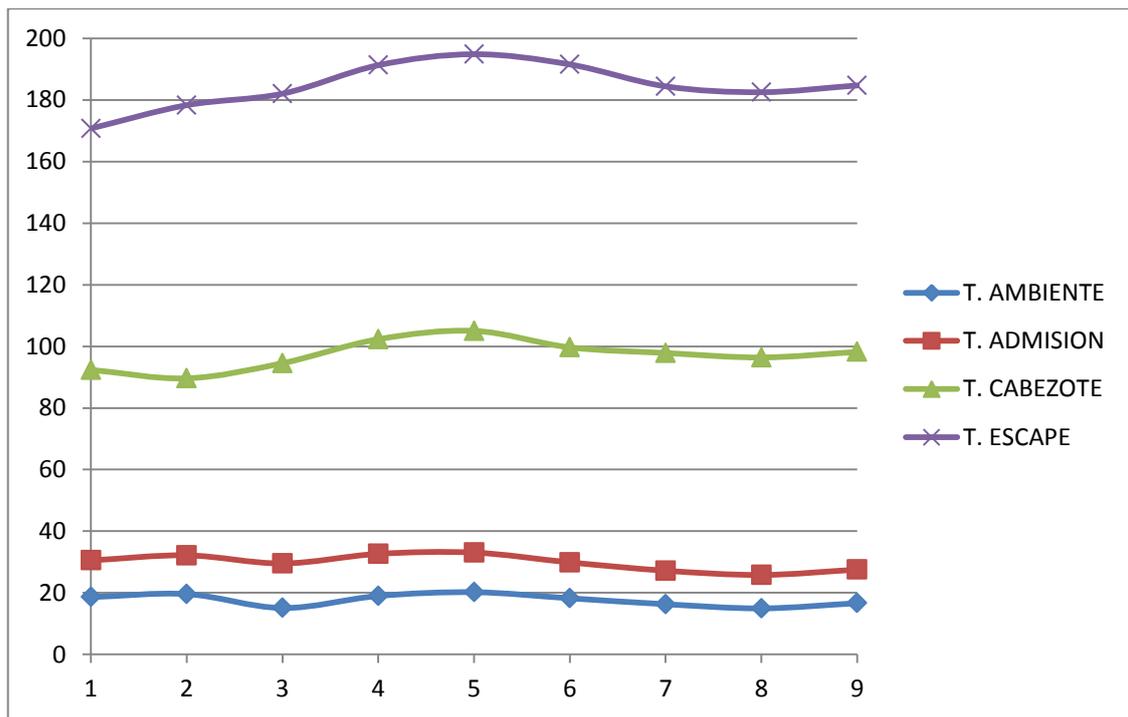


Figura 5. 10 Correspondiente al resumen diario con diesel comercial.

Fuente: Autores

Con estos datos referenciales se dio inicio al proceso de funcionamiento con ARF, los datos obtenidos de temperatura no deberían sobrepasar los límites establecidos en el funcionamiento con diesel y como el voltaje obtenido en el generador es proporcional al número de revoluciones del motor, además al ser un motor estacionario que funciona bajo un régimen único de revoluciones se debe procurar en todo momento mantener el voltaje en un rango de 100 a 120 voltios que nos confirma que el motor está bajo su parámetro normal de funcionamiento, si en algún punto la temperatura o el voltaje están fuera de los rangos normales de funcionamiento se deberá ver la evolución del mismo, tratar de tomar correcciones o detener el proceso.

Tabla 5. 11 Valores promedio del proceso con diesel comercial.

Fuente: Autores

PROMEDIO	17,63	29,82	97,33	184,47
MINIMO	14,96	25,81	89,63	170,73
MAXIMO	20,2	33,06	105,02	194,83
MINIMO GLOBAL	6,4	16,8	84,1	158,9
MAXIMO GLOBAL	25	39	110,3	197,7

5.1.2 HISTORIAL DE FUNCIONAMIENTO CON ACEITE RESIDUAL DE FRITURAS (ARF)

5.1.2.1 Fecha: 17 de Enero 2013

Iniciamos el proceso con una mezcla de aceite residual de frituras ARF del 10 % con 90% Diésel Comercial, en esta muestra a la hora #11 tenemos dos valores que han superado los rangos promedios que se podían apreciar con el diesel comercial pero aun no superaban los valores globales obtenidos anteriormente con este tipo de combustible, están marcados con color naranja para tener precaución y observar su evolución, al evolucionar de manera favorable se

continua con el proceso. El valor de voltaje llama la atención ya que con Diésel Comercial se había mantenido a 110 voltios lo cual no ocurre en esta mezcla ya que ha aumentado su valor y se encuentra en este día en 120 voltios, lo que indica que aumentaron las rpm del motor, ya que todo está dentro del rango de funcionamiento se aumenta la concentración de ARF en la mezcla.

Tabla 5. 12 Correspondiente al día 17 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
10	10:17 AM	9	17,8	28,8	99,4	186,6	120
10	11:17 AM	10	18,6	29,3	99,5	190,4	120
10	12:17 PM	11	24	30	105,3	195	120
20	6:02 PM	12	16,6	26,6	102,5	187	120
20	7:02 PM	13	15	23,5	98,8	186,2	120
20	8:02 PM	14	14,9	24,4	99,3	188,3	120
20	9:02 PM	15	14,4	21,1	96,1	183	120
			17,33	26,24	100,13	188,07	

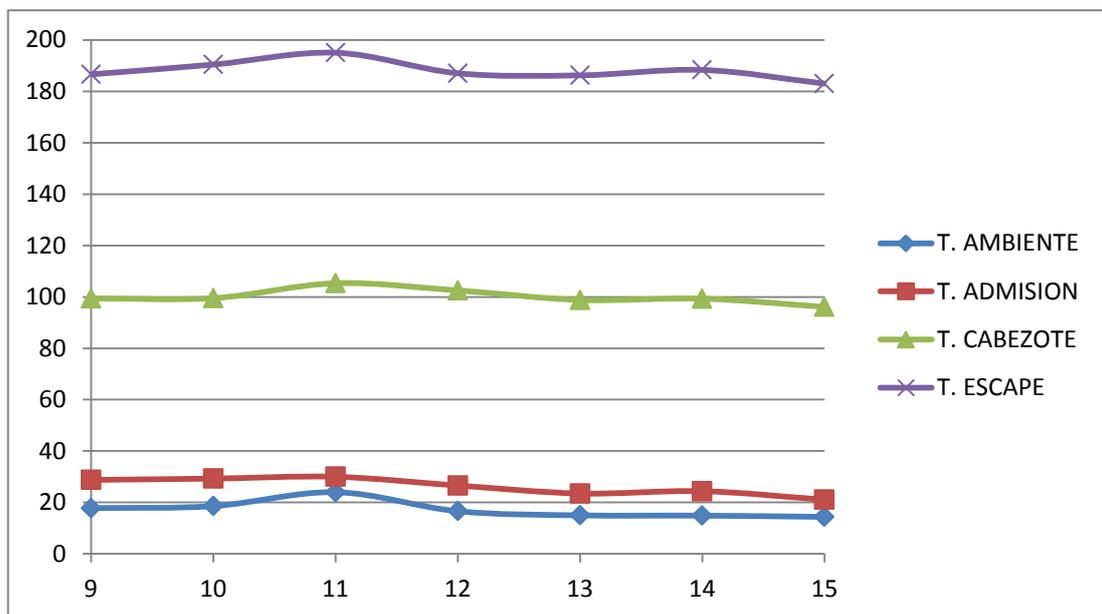


Figura 5. 11 Correspondiente al día 17 de enero del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.2 Fecha: 18 de Enero 2013

Con una nueva concentración de ARF (30% y 40%) en la mezcla se procede a realizar la prueba la cual desarrolla sin inconvenientes, los valores se encuentran

en rango de funcionamiento pero con la caída de voltaje a 110 V a medida que se aumenta la concentración de ARF.

Tabla 5. 13 Correspondiente al día 18 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
30	11:00 AM	16	17,5	27,3	103,4	188,3	120
30	12:00 PM	17	19,2	27,9	102,1	190	120
30	1:00 PM	18	21	28,1	101,4	188,3	120
40	6:15 PM	19	13,9	24	93,6	178,3	110
40	7:15 PM	20	12,7	23,6	93,6	177,6	110
			16,86	26,18	98,82	184,5	

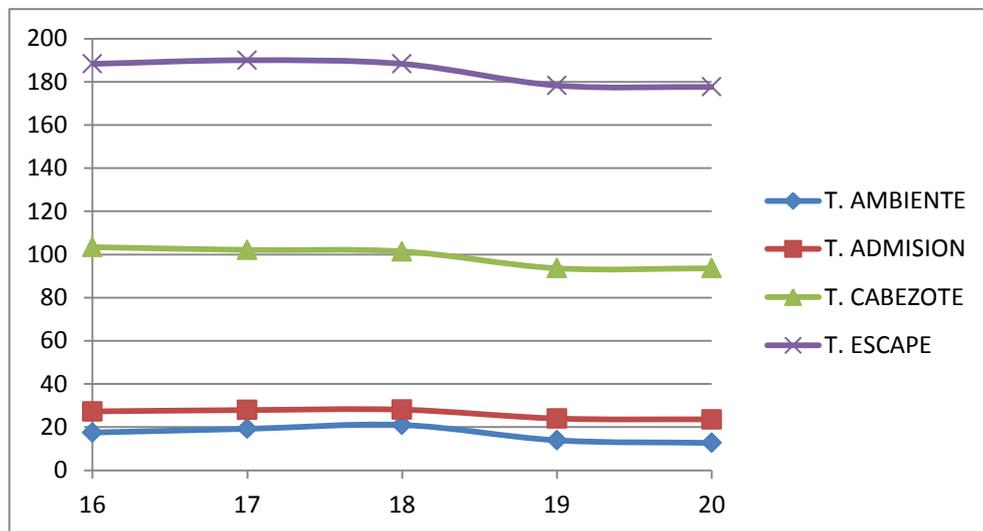


Figura 5. 12 Correspondiente al día 18 de diciembre del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.3 Fecha: 19 de Enero 2013

No se registran inconvenientes los valores están en rango de funcionamiento.

Tabla 5. 14 Correspondiente al día 19 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
40	8:00 AM	21	12,3	21,2	93,3	173,7	110
40	9:00 AM	22	15,6	22,5	97	178,6	110
50	10:00 AM	23	20	26,5	98	177	110
50	11:00 AM	24	21,7	27	100,6	178,3	110
50	12:00 PM	25	22	27,7	98,7	174,6	110
			18,32	24,98	97,52	176,44	

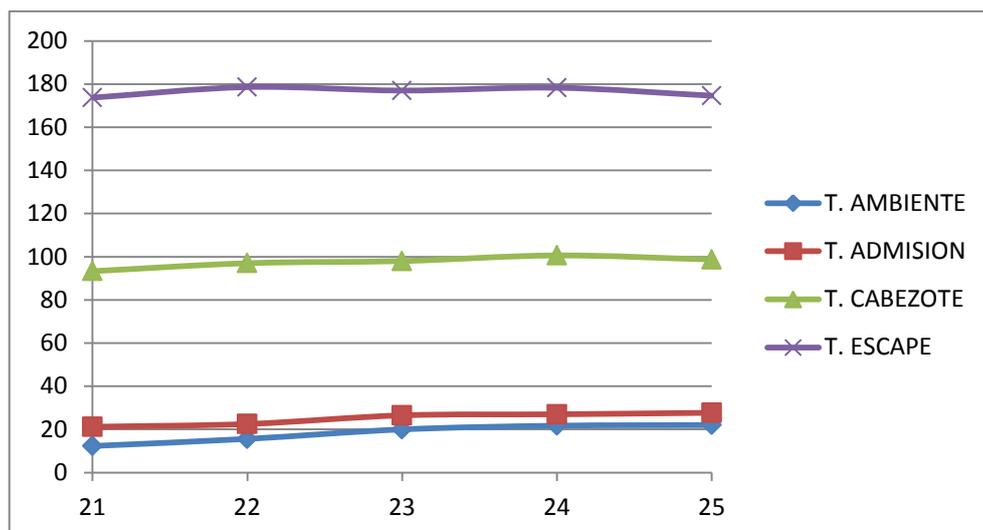


Figura 5.13 Correspondiente al día 19 de enero del 2013.
Fuente: Autores

5.1.2.4 Fecha: 23 de Enero 2013

Al aumentar la concentración al 50 % de ARF y 50% de Diesel Comercia tenemos una caída anormal del voltaje, por lo cual dejamos que el tiempo transcurra para ver su evolución, pero al no obtener una respuesta favorable del sistema se realiza el cambio a 100% Diésel Convencional para determinar los fallos y realizar las correcciones.

Con la presencia de solo Diésel se regula su funcionamiento, el valor de voltaje se estabiliza en los 110 V con las acciones tomadas, por lo que el fallo se encuentra en la línea de ARF.

Tabla 5.15 Correspondiente al día 23 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
50	2:00 PM	26	19,7	26,9	96,6	174,6	100-110
50	3:00 PM	27	15,7	24,4	97,1	172,1	70-110
0	4:00 PM	28	16,2	24,9	97	164	110
0	5:00 PM	29	16	25,5	100,2	175,6	110
0	6:00 PM	30	17,7	25	99,2	196,1	110
			17,06	25,34	98,02	176,48	

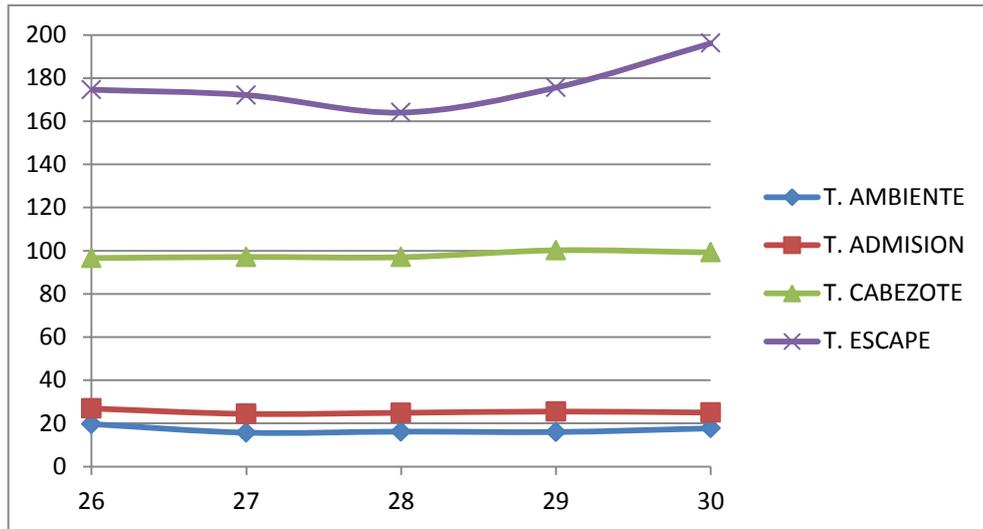


Figura 5. 14 Correspondiente al día 23 de enero del 2013.
Fuente: Autores

5.1.2.5 Fecha: 24 de Enero 2013

Corregido los errores cometidos en el día anterior al implementar una bomba de alimentación tenemos como resultado una muestra relativamente estable y sin anomalías, además se nota que sube ligeramente el voltaje a 115 V ya que estaría funcionando con flujo mayor de mezcla de combustible.

Tabla 5. 16 Correspondiente al día 24 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
40	7:40 AM	31	10,5	21,1	98,5	168,9	110
40	8:40 AM	32	19	26,6	102,1	185,2	110
40	9:40 AM	33	21,6	26,8	104,5	177,3	110
40	10:40 AM	34	23	27,2	105,3	178,7	110
40	11:40 AM	35	25,6	30,5	102,5	181,5	110
50	6:15 PM	36	12,6	24,6	101,5	174,3	115
50	7:15 PM	37	12,5	24,3	101,7	177,3	115
50	8:15 PM	38	13	24,9	99	175	115
50	9:15 PM	39	11,6	21,4	93,6	175,3	115
50	10:15 PM	40	10,3	22,3	98,7	179,6	115
			15,97	24,97	100,74	177,31	

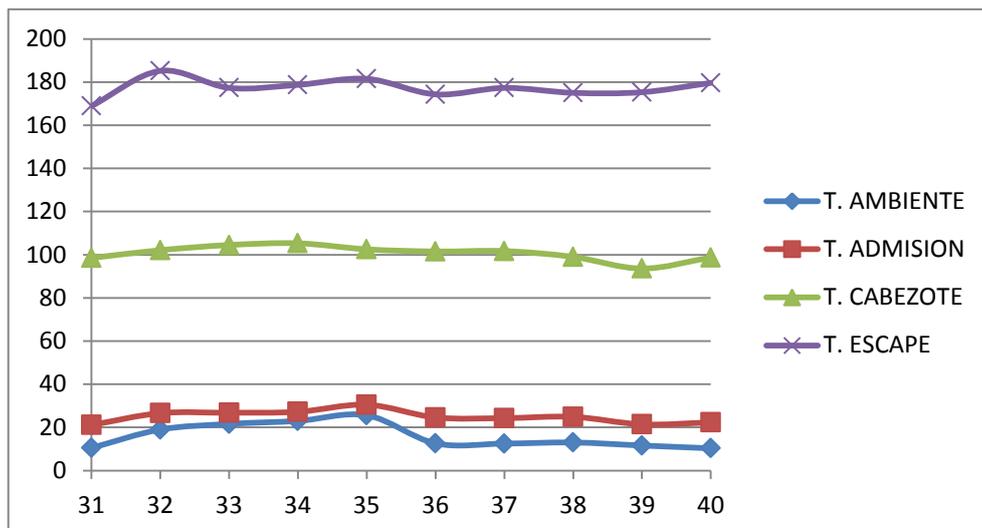


Figura 5. 15 Correspondiente al día 24 de enero del 2013.
Fuente: Autores

5.1.2.6 Fecha: 25 de Enero 2013

Uno de los valores de temperatura en el escape esta fuera de rango debido a la acumulación de carbonilla en el mismo pero evoluciona de manera favorable, con respecto al voltaje hay un descenso a 110 V nuevamente a causa del aumento de concentración de ARF al 60%.

Tabla 5. 17 Correspondiente al día 25 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
50	7:35 AM	41	14,3	21,1	98,2	179,3	115
50	8:35 AM	42	16,1	21,7	100,3	181,5	115
50	9:35 AM	43	16,7	26,9	103,1	185,4	115
50	10:35 AM	44	18	27,4	103,3	181,9	115
60	11:35 AM	45	21,5	27,8	99,2	200	110
60	12:35 PM	46	22	28,9	99,3	190	110
60	6:10 PM	47	16,5	26,4	103	186,2	110
60	7:10 PM	48	15,7	26	99,6	183	110
60	8:10 PM	49	13,8	24,5	97,4	173,4	110
60	9:10 PM	50	11,7	22,3	96,7	173,2	110
			16,63	25,3	100,01	183,39	

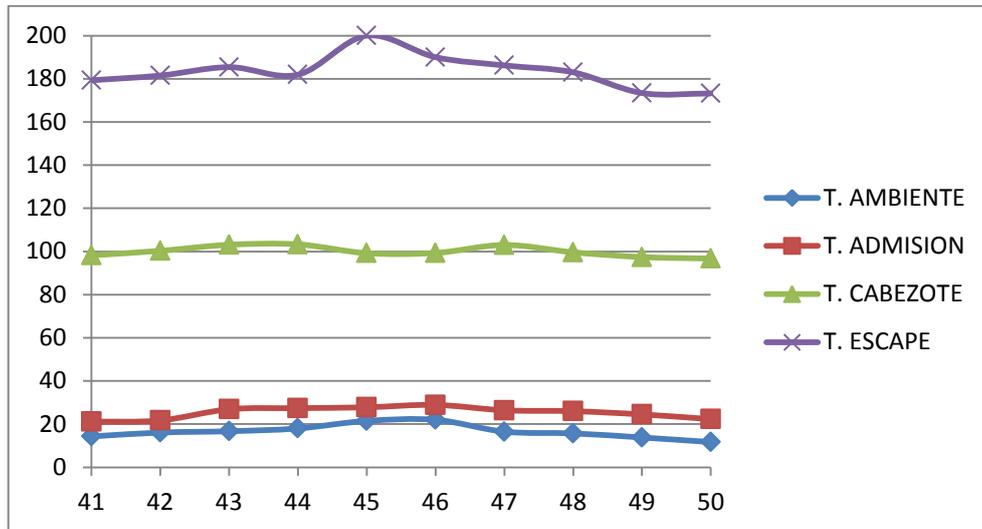


Figura 5. 16 Correspondiente al día 25 de enero del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.7 Fecha: 26 de Enero 2013

En esta prueba se ha podido solucionar los problemas generados anteriormente, por lo que decidimos realizar variaciones de los rangos de concentración de ARF desde el 60% de manera progresiva hasta llegar al 100% de ARF.

Se observa un aumento en la temperatura del cabezote lo cual representa un grave problema que nos indica un aumento en la relación de compresión debido a la acumulación de carbonilla y una mala combustión, la consecuencia directa del incremento de la temperatura en el cabezote será el desgaste prematuro de las partes que componen el motor.

Debido a que el problema es intermitente decidimos observar su evolución por lo que continuamos realizando las pruebas, en caso de exceder los rangos normales se procedería al apagado inmediato del motor de encendido por compresión para evitar desgastes excesivos y daños mayores.

Tabla 5. 18 Correspondiente al día 26 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
60	8:30 AM	51	14,3	20,9	93,5	167,6	110-115
0	9:30 AM	52	17,6	23,2	96,8	176,6	110-115
70	10:30 AM	53	18,2	28,2	110,6	200	120
80	11:30 AM	54	17,9	27	104,6	191,8	120
90	12:30 PM	55	20,2	30,9	105,5	187,5	120
100	2:55 PM	56	21,5	30,3	104,9	200	120
100	3:55 PM	57	21	29,5	102,9	191,3	120
100	4:55 PM	58	20,5	28,3	108,6	189,5	120
100	5:55 PM	59	16,8	27,2	97,9	189,1	120
0	6:55 PM	60	15,9	26,6	99,8	200	120
			18,39	27,21	102,51	189,34	

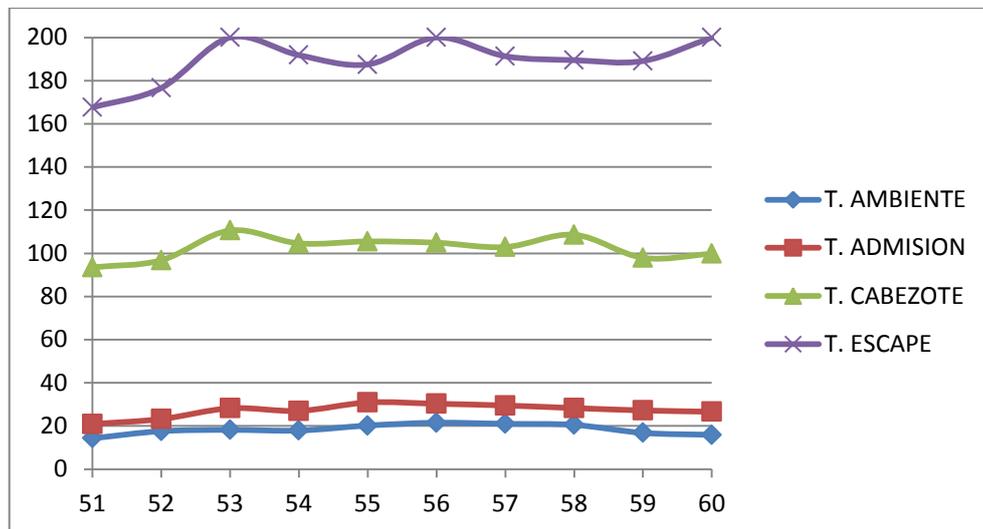


Figura 5. 17 Correspondiente al día 26 de enero del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.8 Fecha: 27 de Enero 2013

Se presentan problemas de vibración excesiva, lo que provocaron rupturas de cañerías, además de fugas por las mismas ocasionando la caída brusca del voltaje generado, inconvenientes que se solucionaron en la brevedad posible, posteriormente decidimos continuar debido a que las temperaturas registradas en el cabezote siguen en el rango admisible global y además ha evolucionado de manera favorable.

Tabla 5. 19 Correspondiente al día 27 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
0	8:25 AM	61	18,5	22,1	103,3	190,2	110
100	9:25 AM	62	17	28,9	105,6	192,2	120
100	10:25 AM	63	18	28,5	104,3	193,1	120
100	11:25 AM	64	18,8	28,6	103,5	188,3	120
100	12:25 PM	65	20	28,5	106,3	190,9	120
0	1:25 PM	66	21	27,5	99,8	180	110
0	3:15 PM	67	22	28,1	105,8	192,7	100
100	4:15 PM	68	19,6	27,7	104	192,2	120
100	5:10 PM	69	18,2	*****	*****	*****	70-100
100	6:50 PM	70	17	26,6	101,6	180,7	115
100	7:50 PM	71	15,1	25,3	100,2	200	80
0	8:50 PM	72	14,2	24,9	99,6	189,1	120
			18,28	26,97	103,09	189,95	

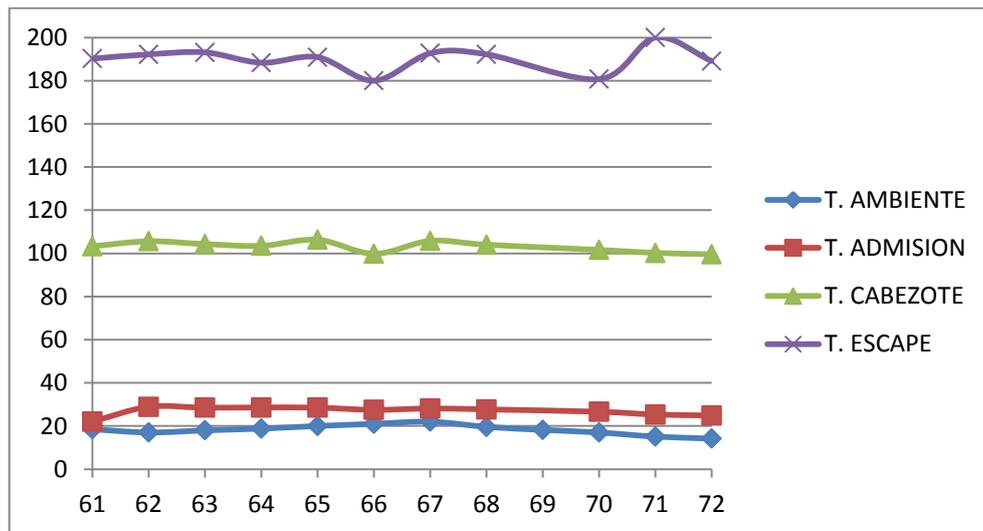


Figura 5. 18 Correspondiente al día 27 de enero del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.9 Fecha: 28 de Enero 2013

En esta prueba se realizan las reparaciones necesarias al sistema de alimentación y se continúa con el monitoreo del funcionamiento del motor. Los problemas de vibración excesiva registrados en los últimos días trae como consecuencia la rotura del tubo de escape y las cañerías nuevamente por lo que se procede a usar el tubo de escape del motor #1 y realizar la adaptación del

sistema, llegados a este punto se debe detener las pruebas dar con la solución definitiva y volver a arrancar el motor de encendido por compresión, el voltaje desciende durante la ruptura de las cañerías debido a la falta de presión en las líneas de combustible.

Tabla 5. 20 Correspondiente al día 28 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
0-100	7:50 AM	73	13,1	*****	*****	*****	*****
100	9:50 AM	74	19,2	26,1	104,9	200	100-110
50	10:50 AM	75	17,9	25,4	103,5	200	110-120
			16,73	25,75	104,20	200	

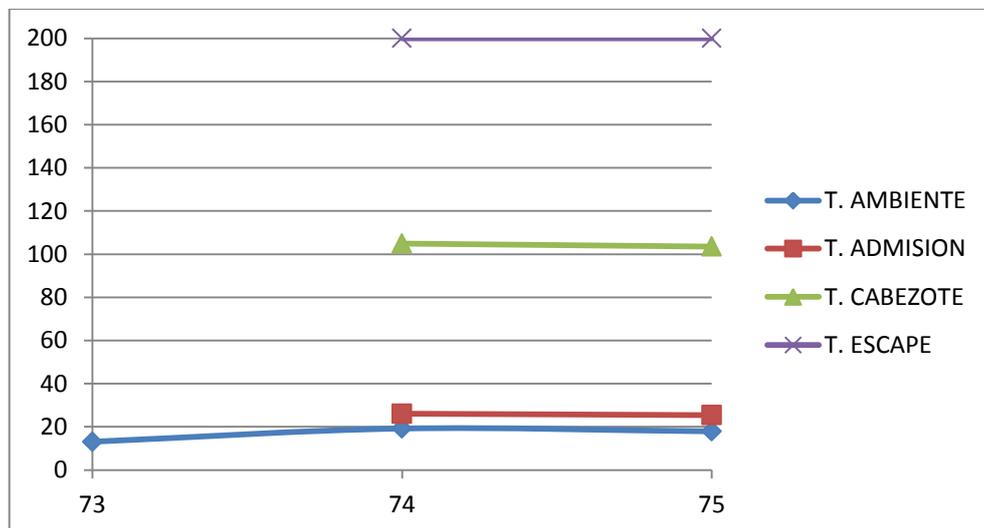


Figura 5. 19 Correspondiente al día 28 de enero del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.10 Fecha: 29 de Enero 2013

Al colocar un nuevo tubo de escape se nota un descenso considerable en la temperatura del escape, se ha colocado todos los puntos de anclaje sin suprimirlos (dado que eso se había realizado anteriormente), se ha aumentado el diámetro de la cañería de cobre ligeramente, esto ocasiona un resultado positivo, aunque las temperaturas en el cabezote han ido aumentando pero parece evolucionar satisfactoriamente por lo que se decide continuar.

Tabla 5. 21 Correspondiente al día 29 de enero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
0	11:25 AM	76	19,3	28,4	101	160	115
100	12:25 PM	77	20,4	27,8	101,5	160,9	120
0	1:25 PM	78	21,5	29,9	107,5	163,7	115
0	3:45 PM	79	20,4	29,8	106,5	176,6	115
100	4:45 PM	80	19,4	29,6	108	169,4	120
100	5:45 PM	81	19,1	27,3	102,1	170,6	115
100	6:45 PM	82	14	26,7	107,6	177	115
100	7:45 PM	83	13,6	26,3	104,2	185,4	100-110
0	8:45 PM	84	12,5	23	95,3	170,4	100-110
			17,80	27,64	103,74	170,44	

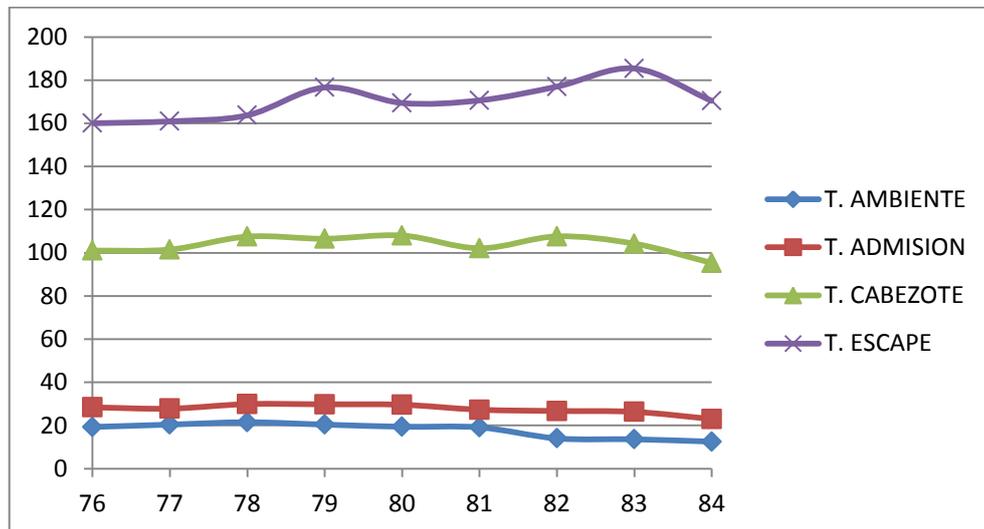


Figura 5. 20 Correspondiente al día 29 enero del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.11 Fecha: 01 de Febrero 2013

En esta ocasión la temperatura del cabezote que había estado incrementándose progresivamente, no responden de manera favorable registrando un aumento excesivo por lo que se detiene el proceso para realizar las pruebas de contaminación, y al igual que el día anterior el voltaje generado es inestable con valores que oscilan entre los 101 voltios a los 120 voltios, saliéndose completamente de los rango de funcionamiento normales.

Tabla 5. 22 Correspondiente al día 01 de febrero del 2013.

Fuente: Autores

% ARF	HORA	# HORA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE	VOLTAJE
0	5:15 PM	85	17,2	39,6	108,4	200	101-104
100	6:15 PM	86	16,9	35,2	112,3	200	118-120
100	7:15 PM	87	15,4	27,6	118,3	200	110-115
100/0	8:15 PM	88	14,7	24,9	120,4	200	100-105
			16,05	31,83	114,85	200,00	

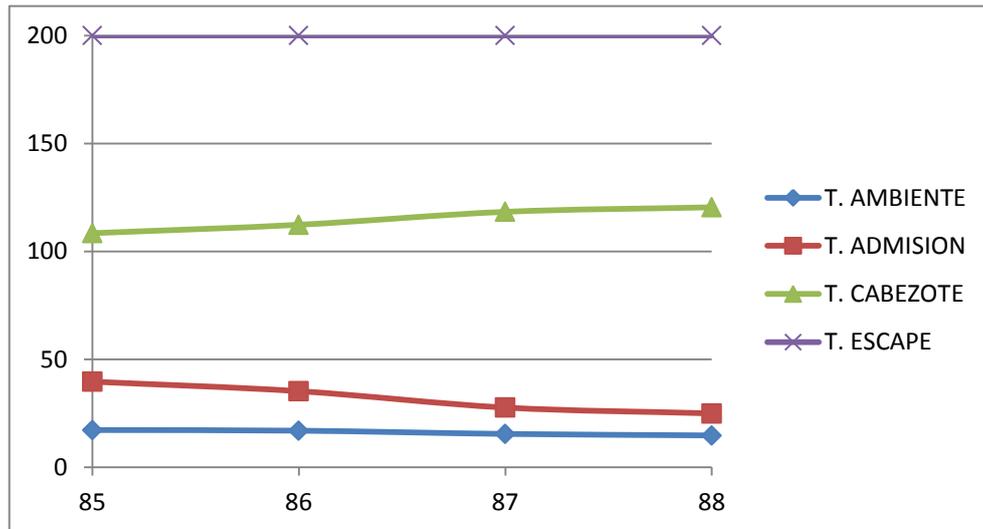


Figura 5. 21 Correspondiente al día 01 de febrero del 2013.

Fuente: Autores

5.1.2.12 Resumen diario funcionamiento con ARF

En esta fase de nuestro proyecto hemos estado comparando las temperaturas obtenidas con diésel comercial con las obtenidas usando ARF. Las dificultades que se han presentado y debido a ello las variaciones en la muestra se han descrito completamente en el capítulo #3 del presente proyecto. En el resumen diario tenemos los valores promedios del proceso, máximo y mínimo del promedio de los días además están marcados con color rojo y azul respectivamente, también hemos determinado los valores máximo global y mínimo global que corresponden a los valores que se presentaron durante esta parte del proceso que ha durado 88 de las 100 horas programadas, con el fin de conservar el motor y realizar los análisis medioambientales. Se puede decir que para hacer funcionar un motor diésel usando ARF se debe usar en mezcla en un porcentaje de máximo del 40% ARF, y mantenimientos más cortos debido a la acumulación de carbonilla

como un factor que ha generado inconvenientes por el aumento de la relación de compresión y por ende una mayor temperatura.

Tabla 5. 23 Correspondiente al resumen diario de funcionamiento con ARF.

Fuente: Autores

DIA	%ARF	FECHA	T. AMBIENTE	T. ADMISION	T. CABEZOTE	T. ESCAPE
1	10/20	17/01/2013	17,33	26,24	100,13	188,07
2	30/40	18/01/2013	16,86	26,18	98,82	184,5
3	40/50	19/01/2013	18,32	24,98	97,52	176,44
4	50/0	23/01/2013	17,06	25,34	98,02	176,48
5	40/50	24/01/2013	15,97	24,97	100,74	177,31
6	50/60	25/01/2013	16,63	25,3	100,01	183,39
7	0/60/70/90/100	26/01/2013	18,39	27,21	102,51	189,34
8	0/100	27/01/2013	18,28	26,97	103,09	189,95
9	0/50/100	28/01/2013	16,73	25,75	104,20	200,00
10	0/100	29/01/2013	17,80	27,64	103,74	170,44
11	0/100	01/02/2013	16,05	31,83	114,85	200,00

Tabla 5. 24 Valores promedio del proceso con ARF.

Fuente: Autores

PROMEDIO	17,22	26,58	102,15	185,08
MINIMO	15,97	24,97	97,52	176,44
MAXIMO	18,39	31,83	114,85	200,00
MINIMO GLOBAL	10,3	20,9	93,3	160
MAXIMO GLOBAL	25,6	39,6	120,4	200

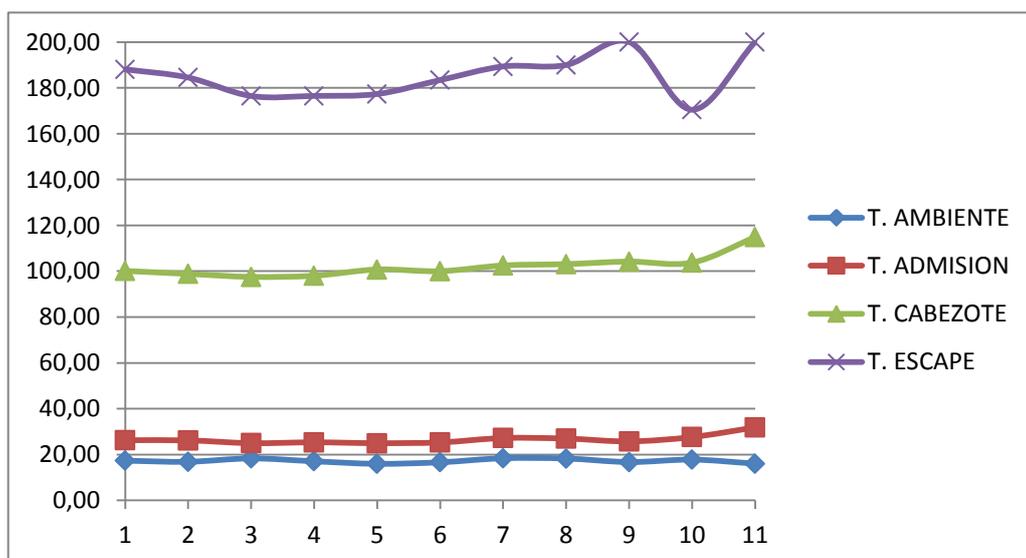


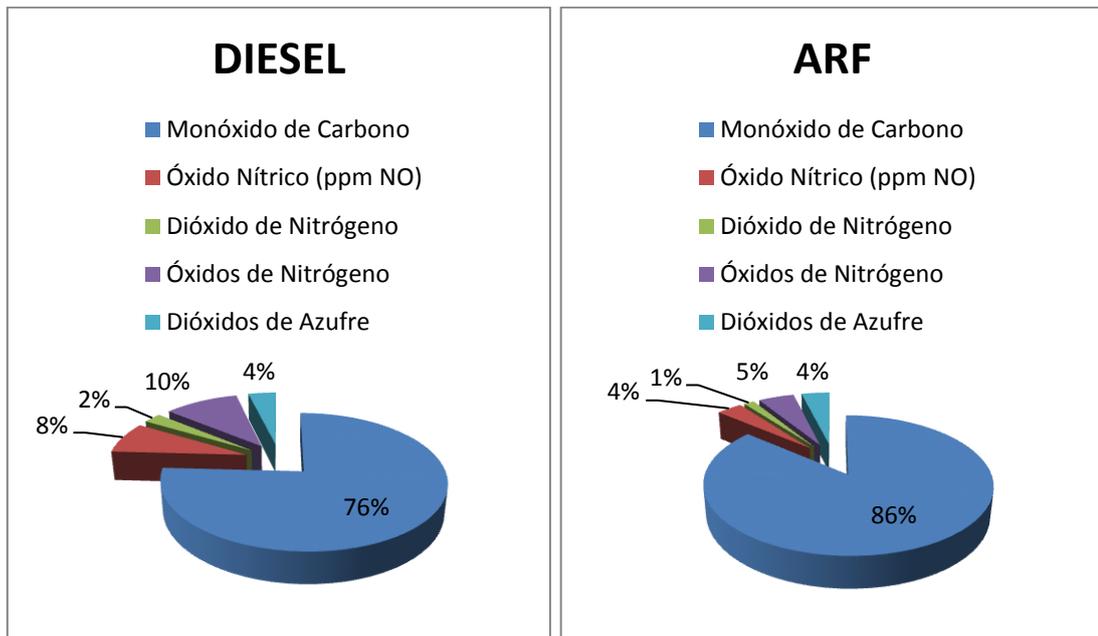
Figura 5. 22 Correspondiente al resumen diario de funcionamiento con ARF.

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

- Al utilizar ARF como combustible alternativo disminuye el nivel de contaminación ya que eliminamos una sustancia líquida perjudicial al ambiente, mediante la combustión se obtiene una reducción de contaminantes en el aire que cuando se utiliza diesel evitando el uso excesivo del mismo.
- En el proceso de fritura el aceite vegetal es sometido a una temperatura que oscila entre los 120-150 grados Celsius, provocando la eliminación del contenido de agua en el ARF, ya que estos valores superan la temperatura de ebullición del líquido vital.
- El ARF posee un exceso de carbonilla, que al ser usado a largo plazo como combustible alternativo incrementa la relación de compresión del motor provocando un incremento en su temperatura de funcionamiento, este dato se comprueba en los análisis químicos realizados al ARF en los laboratorios de la ESPOL.
- Un motor de encendido por compresión puede funcionar con el 100 % de ARF, siempre que este alcance como mínimo 70 grados Celsius antes de ingresar a la cámara de combustión, para esto se debe realizar ciertas modificaciones al sistema de alimentación.
- Al no circular diesel al inicio y al final del funcionamiento con ARF provocaría el taponamiento del sistema de alimentación, en este caso podría ser el filtro y/o el inyector.
- El aumento de vibraciones en el motor de encendido por compresión es directamente proporcional al incremento volumétrico del ARF utilizado en el mismo.

- En base a los análisis de gases presentes en el capítulo 4 se aprecia un incremento de partes por millón (ppm) en la cantidad de azufre utilizando ARF, pero dicho elemento se mantiene constante al realizar un análisis porcentual que se muestra a continuación:



Al utilizar diesel al inicio y final del periodo de funcionamiento con ARF se observa la presencia de azufre durante el análisis de gases debido a que este elemento no se quema durante la combustión.

RECOMENDACIONES

- El ARF debe ser sedimentado antes de realizar los procesos de filtración con el fin de separar las partículas sólidas de mayor dimensión y peso especialmente las carbonizadas.
- Al utilizar aceite residual de frituras como combustible alternativo se debe realizar con mayor frecuencia el mantenimiento del motor de encendido por compresión, para alargar los periodos de dichos mantenimientos debemos circular diesel en las líneas de alimentación, para calentar el motor además de limpiar las líneas de alimentación al inicio y al final de su periodo de funcionamiento respectivamente.
- Se debe someter al ARF a un proceso de filtrado previo, para facilitar su fluidez y alargar la vida útil de los elementos que constituyen el sistema de alimentación del generador HDY-2500L.
- Para disminuir la cantidad de componentes en el diseño del motor y aprovechar la energía calorífica presente en los gases de escape, debemos circular el ARF de tal forma que se produzca una transferencia de calor de los gases al fluido.
- El diseño del sistema de alimentación de ARF con respecto al de diesel deben estar en paralelo, de tal forma que permita que el cambio de combustible con el funcionamiento ininterrumpido del motor.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CENGEL, Yunus, Termodinámica, 5ta. Edición, Editorial Mc Graw Hill, México, 2007.
- OWEN R., Fennema, Química de los Alimentos, 2da Edición, Editorial Acribia, España, 2000.
- CASTRO, Miguel, El Motor Diesel, 1era. Edición, Editorial CEAC, España, 1987.
- <http://www.biografiasyvidas.com/biografia/d/diesel.htm> (2012-12-29/16h00)
- <http://motoreselectricoscecytej.blogspot.com/> (2013-01-05/09h00)
- <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/08/mangeles-aylon-blog.pdf> (2013-01-07/11h00)
- http://www.infoagro.com/instrumentos_medida/doc_aceites_grasas_frituras_fritos.asp (2013-01-13/19h10)
- <http://apps.inen.gob.ec/normas/CatalogoNumerico.php> (2013-01-20/15h15)
- <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/astm.d1298.1999.pdf>(2013-01-20/23h15)
- <http://www.estudiaronline.org/blog/tag/la-hidrolisis/> (2013-02-19/10h45)
- www.portaleso.com/portaleso/trabajos/tecnologia/energia/principios_termodinamicos.doc (2013-03-08/07h38)
- <http://blogaustral.org/quimicaindustrial/preguntas-frecuentes/punto-de-inflamacion/> (2013-03-25/17h23)
- <http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398&idsec=1573> (2013-04-03/18h00)