



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISMINUCIÓN DE LA POLUCIÓN EN LA PLANTA DE EMERGENCIA DE GENERACIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL, CON BASE EN EL
AUMENTO DE LA EFICACIA Y LA INTRODUCCIÓN DE BIOCMBUSTIBLES**

Nestor Josué Pérez Ramírez

Asesorado por el Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma

Guatemala, marzo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISMINUCIÓN DE LA POLUCIÓN EN LA PLANTA DE EMERGENCIA DE GENERACIÓN
DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL, CON BASE EN EL
AUMENTO DE LA EFICACIA Y LA INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

NESTOR JOSUÉ PÉREZ RAMÍREZ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANIBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MARZO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Figueroa Vásquez
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Guzmán Ortíz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISMINUCIÓN DE LA POLUCIÓN EN LA PLANTA DE EMERGENCIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL, CON BASE EN EL AUMENTO DE LA EFICACIA Y LA INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 17 de abril de 2013.

Nestor Josué Pérez Ramírez



Guatemala, 22 de enero de 2015
REF.EPS.DOC.41.01.15.

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Rodríguez Serrano.

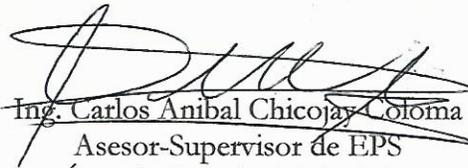
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Nestor Josué Pérez Ramírez** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 200614802, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **DISMINUCIÓN DE LA POLUCIÓN EN LA PLANTA DE EMERGENCIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL, CON BASE EN EL AUMENTO DE LA EFICACIA Y LA INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 22 de enero de 2015
REF.EPS.D.37.01.15

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado: **DISMINUCIÓN DE LA POLUCIÓN EN LA PLANTA DE EMERGENCIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL, CON BASE EN EL AUMENTO DE LA EFICACIA Y LA INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES**, que fue desarrollado por el estudiante universitario Nestor Josué Pérez Ramírez quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
Director Unidad de EPS



SJRS/ra



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.Mecanica.064.2015

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Supervisor, con la aprobación del Director del Departamento de EPS, del trabajo de graduación titulado **DISMINUCIÓN DE LA POLUCIÓN EN LA PLANTA DE EMERGENCIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL, CON BASE EN EL AUMENTO DE LA EFICACIA Y LA INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES**. Del estudiante **Nestor Josué Pérez Ramírez**, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"

MA. Ing. Julio César Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

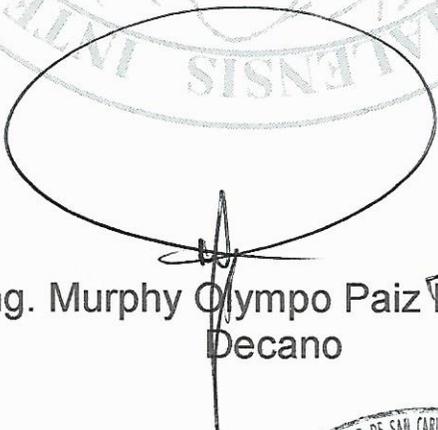


Guatemala, febero de 2015.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISMINUSIÓN DE LA POLUCIÓN EN LA PLANTA DE EMERGENCIA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA EMPRESA PORTUARIA QUETZAL, CON BASE EN EL AUMENTO DE LA EFICACIA Y LA INTRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES**, presentado por el estudiante universitario: **Nestor Josué Pérez Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.



Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, marzo de 2015



ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por estar a mi lado en todo momento.
Mis padres	Por su apoyo y esfuerzo, incondicional Federico Pérez y Aura Ramírez.
Mis Hermanos	Hellmuth, Herbert y Lisbeth Pérez, por brindarme su valioso apoyo en todo momento y sus consejos.
Mis tíos y tías	Por su comprensión, apoyo y cariño.
Mis primos y primas	Por compartir y gozar momentos importantísimos de nuestras vidas.
Mis amigos	Por la confianza y amistad compartidas en experiencias tanto buenas como desafortunadas.
Mi asesor	Ing. Carlos Anibal Chicojay, por su apoyo e interés en la elaboración de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser un manantial inagotable de conocimientos y de superación personal para los guatemaltecos.

Facultad de Ingeniería

Por la innegable fuente de conocimientos que posee y la influencia positiva en mi vida.

**Mis compañeros
universitarios**

Por la convivencia y compañerismo compartido en los momentos de gozo y de esfuerzo en el transcurso de la carrera.

Mis catedráticos

Por los conocimientos transmitidos con paciencia y dedicación redundando en beneficio del estudiante y de la población.

Ingeniero

Hernan Baudilio Figueroa Carrascoza, por su generosidad en los aportes y valiosos consejos transmitidos.

	1.2.1.6.	Sistema de lubricación	15
	1.2.1.7.	Sistema de alimentación y escape	16
		1.2.1.7.1. Sistema de operación automático.....	18
	1.2.2.	Generador sincrónico	21
	1.2.3.	Depósito de combustible	23
1.3.		Ahorro de energía optimizando el uso del combustible.....	24
	1.3.1.	Relación aire-combustible	24
	1.3.2.	Análisis Orsat	26
	1.3.3.	Sensor de oxígeno	27
	1.3.4.	Aditivos mejoradores del rendimiento	28
	1.3.5.	Generación y demanda de electricidad	29
1.4.		Combustibles	31
	1.4.1.	Clasificación	31
		1.4.1.1. Combustibles sólidos	31
		1.4.1.2. Combustibles líquidos	31
		1.4.1.3. Combustibles gaseosos	32
	1.4.2.	Características	32
	1.4.3.	Petróleo.....	33
		1.4.3.1. Combustible diésel	35
	1.4.4.	Biomasa	38
		1.4.4.1. Biodiésel.....	38
2.		FASE TÉCNICO PROFESIONAL	43
	2.1.	Biocombustibles como alternativa.....	43
		2.1.1. Datos técnicos de los motores	43
		2.1.2. Relación mezcla para el motor diésel-biodiésel	45
		2.1.3. Generación de dióxido de carbono (CO ₂).....	48
		2.1.4. Reducción de la polución por el uso de biodiésel...	50

2.2.	Rediseño del depósito de combustible	54
2.2.1.	Condiciones actuales del depósito de combustible	55
2.2.2.	Análisis técnico	56
2.2.3.	Recursos.....	61
2.2.3.1.	Recursos humanos.....	61
2.2.3.2.	Recursos materiales	62
2.2.4.	Metodología	62
2.2.5.	Nuevo diseño del depósito de combustible	64
3.	FASE DE DOCENCIA	67
3.1.	Mantenimiento	67
3.1.1.	Mantenimiento diario	67
3.1.2.	Mantenimiento semanal.....	68
3.1.3.	Mantenimiento a las 250 horas o 6 meses	69
3.1.4.	Mantenimiento a las 2 000 horas o 1 año.....	72
3.1.5.	Mantenimiento a las 6 000 horas o 2 años	74
3.1.6.	Otros mantenimientos.....	77
3.2.	Instrucciones de las operaciones	81
	CONCLUSIONES	91
	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	95
	APÉNDICE.....	97
	ANEXOS.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema termodinámico de un motor térmico y una bomba mecánica...	6
2.	Ciclo ideal Diésel.....	7
3.	Elementos de un MCI.....	13
4.	Sistema de refrigeración por agua.....	15
5.	Esquema de una bomba de aceite.....	16
6.	Bomba de inyección lineal.....	17
7.	Imán sometido al campo magnético de otro imán.....	19
8.	Dirección del campo magnético y la fuerza expulsora.....	19
9.	Deformación del campo magnético de un imán por la acción de un conductor energizado.....	20
10.	Componentes del motor de arranque sin engranes de reducción.....	21
11.	Potencias vs. aire-combustible MCI.....	25
12.	Aparato Orsat.....	27
13.	Diseño de la lógica de control de un PLC.....	30
14.	Torre de destilación fraccionada.....	35
15.	Rangos de la viscosidad cinemática a 40 °C del diésel, del diésel requerido por el fabricante y el biodiésel.....	45
16.	Generación promedio de emisiones por el uso de biodiésel en motores de uso pesado.....	54
17.	Depósito de combustible E.P.Q.....	56
18.	Llenado del depósito de combustible mediante un depósito auxiliar.....	57
19.	Diseño del area transversal en la unión de la soldadura.....	59

20.	Mecanismo de sujeción entre metal y concreto del depósito de combustible.....	63
21.	Verificación de las luces de alarma con el interruptor de encendido.....	88

TABLAS

I.	Componentes del petróleo.....	34
II.	Especificaciones para el diésel.....	36
III.	Especificaciones para el biodiésel.....	39
IV.	Fuentes de los aceites utilizados para la producción de biodiésel.....	41
V.	Características de la Planta de Emergencia.....	44
VI.	Rendimiento de cultivos para la producción de aceite.....	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
cSt	Centistoke
GjI	Gigajulio
°C	Grados Celsius
°F	Grados Fahrenheit
km	Kilómetro
kpa	Kilopascal
psi	Libra por pulgada cuadrada
Mj/l	Megajulio/litro
m	Metros
mb	Milibar
mm	Milímetros
N-m	Newton-metro
ppm	Partículas por millón
“	Pulgadas
rpm	Revolución por minuto

GLOSARIO

Anticlinal	Es una deformación en pliegue formado en rocas dispuestas en estratos que resultan de esfuerzos tectónicos de tipo diverso.
B20	Mezcla consistente en 20 % de biodiésel y 80 % diésel.
Bobina	Instrumento que en el interior posee un alambre enrollado a un metal ferroso con la finalidad de generar un campo magnético.
Bujía	Pieza que hace saltar la chispa eléctrica que debe inflamar la mezcla gaseosa.
Calado	Profundidad que alcanza en el agua la parte sumergida de un barco.
Carburante	Mezcla de hidrocarburos que se emplea en los motores de explosión y de combustión interna.
CENSE™	Sistema electrónico de monitoreo del motor.
Cojinete	Pieza o conjunto de piezas en que se apoya y gira el eje de un mecanismo.

Dársena	En aguas navegables, parte resguardada artificialmente para fondeo o para la cómoda carga y descarga de embarcaciones.
Duque de Alba	Son estructuras aisladas que sirven para dar apoyo lateral y amarre a los buques.
ECM	Módulo de Control Electrónico.
Escobillas	Haz de hilos de cobre destinados a mantener el contacto, por rozamiento, entre dos partes de una máquina eléctrica.
Eslora	Es la dimensión de un barco tomada a su largo, desde la proa (parte delantera de la nave) hasta la popa (parte posterior de una embarcación).
Grados API	Es una medida que, en comparación con el agua determina cuan pesado o liviano es el petróleo.
INSITE™	Es un programa de diagnóstico de servicio electrónico basado en Microsoft Windows™ que permite diagnosticar fallas de motores electrónicos Cummins.

Manguitos	Elemento cilíndrico hueco, de sección circular, que generalmente se usa como separador. Los materiales con que se fabrica varían según los usos. Tienen aplicación como separadores (entre los cojinetes para evitar que rocen, entre los engranajes, etc.) y como elementos de unión entre las placas interiores de las cadenas de transmisión.
MCI	Motor de combustión interna.
Moleteada	Es la terminación que se le da a una superficie para facilitar el agarre.
On	Energizar el sistema.
Óxido de zirconio	Es de baja conductividad térmica y extrema solidez, algunos tipos de cerámica de óxido de circonio pueden conducir los iones de oxígeno; posee elevada expansión térmica y muy alta resistencia a propagación de roturas.
PMG	Generador Magnético Permanente (Permanent Magnet Generator).
PMI	Punto muerto inferior; denota el movimiento más bajo al que puede llegar el pistón.
PMS	Punto muerto superior; denota el movimiento más elevado que puede conseguir el pistón.

Rectificador trifásico

Es un dispositivo electrónico capaz de convertir corriente alterna de entrada en corriente continua de salida, mediante dispositivos semiconductores capaces de manejar grandes potencias como diodos, tiristores, válvulas de mercurio, entre otros.

RESUMEN

Para el desarrollo del Estudio Profesional Supervisado se utilizaron las instalaciones y equipo de la empresa Portuaria Quetzal, para lo cual, se recurrió a los conocimientos aprendidos en el transcurso de la carrera y también, los adquiridos por medio de los profesionales de la portuaria.

La empresa necesita un constante flujo de energía eléctrica, por lo que cuenta con una Planta de Emergencia, la cual debe encontrarse en excelentes condiciones en cualquier momento. Además, de contar con personal capacitado para la conveniente operación.

Una planta de emergencia no es más que un sistema motor-generator, el cual utiliza la energía química de los combustibles líquidos para producir electricidad; estos eventualmente, producen durante la combustión partículas contaminantes para el ambiente, siendo la principal el dióxido de carbono (CO₂).

La iniciativa que puede tomar la empresa, para reducir la polución que se provoca por la combustión es la introducción de biocombustibles a la planta de emergencia; el fabricante asegura un correcto funcionamiento del producto con una mezcla B20. Esto reducirá la emisión de CO₂, mediante la fijación de carbono que se produzca en cada planta vegetal necesaria para producir el biodiésel requerido por la Planta de Emergencia.

OBJETIVOS

General

Disminuir la polución en la Planta de Emergencia que genera energía eléctrica de la empresa.

Específicos

1. Establecer la relación adecuada biodiésel-diésel, así como la reducción de la polución resultante de la introducción en la Planta de Emergencia de la empresa.
2. Realizar el análisis técnico, para el rediseño del depósito de combustible de la Planta de Emergencia para los ajustes y mejoramiento.
3. Dotar de elementos teóricos que permitan mostrar las operaciones que se producen durante el funcionamiento de la Planta de Emergencia.
4. Proveer material metódico que proponga adaptar y efectuar las rutinas de mantenimiento de los equipos, conservarlos y ajustarlos para mantener emisiones mínimas de contaminantes ambientales
5. Capacitar al personal encargado de la Planta de Emergencia en la aplicación sistemática del proceso de mantenimiento de los componentes involucrados.

INTRODUCCIÓN

La Planta de Emergencia de la empresa Portuaria Quetzal produce energía eléctrica en emergencias, generando con ello emisiones contaminantes al ambiente, siendo la principal el CO₂. Este proyecto, busca minimizar dicha emisión, dejando a un lado la búsqueda de una alternativa energética como reemplazo al petróleo.

Una planta vegetal necesita CO₂ para el crecimiento, al quemar el biodiésel que produce el CO₂ que genera ya fue fijado durante el crecimiento en un ciclo renovable; a diferencia del diésel, que solo se puede producir en un proceso de millones de años, por lo que al oxidarse el CO₂ se va almacenando directamente en la atmósfera.

El estudio se centra en una mezcla del 20 % de biodiésel al combustible diésel, como recomienda el fabricante, los datos de las emisiones y reducciones de CO₂ varían según sean las condiciones de la mezcla aire-combustible y la capacidad de absorción de la planta *Jatropha curcas*, respectivamente.

El proyecto describe el funcionamiento del motor; rediseña el depósito de combustible; y crea un manual de mantenimiento a manera de mantener la relación aire-combustible lo más cercana posible a la ideal. Es conveniente tener al personal capacitado en las operaciones de la Planta de Emergencia por lo que se involucra un manual de operaciones.

El balance energético no toma en cuenta la generación de emisiones contaminantes que se producen durante el cultivo, cosecha y producción de la planta *Jatropha curcas*.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Características de la empresa Portuaria Quetzal

Está creada para beneficio del Estado bajo la administración de la empresa Portuaria Quetzal, la fuente de ingresos se origina con la descarga o carga y el embarque de pasajeros en las áreas acondicionadas. Por el volumen de carga que moviliza es el puerto más importante de Guatemala. Es un puerto de índole granelero, en él se moviliza la mayor parte de la exportación de los productos agrícolas del país y proporciona una vía de acceso turístico a la región.

Ha consolidado la participación con el sector privado en la prestación de los servicios y ha ejecutado proyectos de desarrollo, enfocados a fortalecer la capacidad instalada, que aseguren mejorar continuamente los niveles de calidad y eficiencia que maneja actualmente el comercio marítimo internacional. Los planes de extensión de Puerto Quetzal abarcan el desarrollo de una terminal especializada para el manejo de contenedores con el fin de consolidarse como el primero en la región en ser un puerto de trasbordo.

La empresa cuenta con maquinaria especializada para el funcionamiento, entre los elementos mecánicos más destacados se encuentran: montacargas, brazos hidráulicos, plataformas para cargar y descargar contenedores, taladros hidráulicos, minitractores, tractores, buses, microbuses, etc. Además, cuenta con los talleres adecuados para dar mantenimiento, los cuales son: soldadura, mecánica automotriz, refrigeración, maquinaria pesada, electricidad, carpintería y torno, posee una planta de emergencia que le permite garantizar un servicio continuo de energía eléctrica.

1.1.1. Infraestructura

La empresa Portuaria Quetzal para atender a los buques cuenta con las siguientes instalaciones.

- Muelle comercial: 810 metros de longitud en 4 puestos de atraque de 200 metros cada uno, calado de 11,20 metros
- Muelle auxiliar: 170 metros de longitud, calado de 5 metros
- Dársena de maniobras: 400 metros de diámetro, calado de 14 metros
- Muelle tipo Duque de Alba, terminal de cruceros: eslora hasta 300 metros, calado 12 metros
- Muelle tipo Duque de Alba, terminal de carbón y combustible: eslora hasta de 240 metros, calado de 12 metros
- Terminal para la descarga de gas licuado de petróleo (GLP): eslora hasta de 240 metros, calado de 12 metros

1.1.2. Características medioambientales

Algunas de las características medioambientales más importantes de Puerto Quetzal son las siguientes:

- Temperatura ambiente: máxima 38 °C, mínima 14 °C, promedio 28,2 °C
- Humedad: máxima 100 %, mínima 19 %, promedio 75 %

- Precipitación: la temporada de precipitación de lluvias se producen entre mayo a octubre con una media de 1 570 milímetros
- Presión atmosférica: máxima: 1 025 milibares, mínima 1 003 milibares, promedio: 1 012,4 milibares

1.1.3. Historia y ubicación

Se acuerda la creación por la necesidad existente de intercambio comercial en la ruta del océano Pacífico en 1979; se inicia la construcción en 1980, comienza las operaciones en 1983 y culminando la primera fase en 1985; se encarga de sus funciones la empresa Portuaria Quetzal.

Se encuentra localizada en la finca empresa Portuaria Quetzal (posición geográfica: centro del área de borneo del puerto, latitud 13° 55' 22,1772" norte, longitud 90° 47' 20,0277" oeste) y posee una extensión territorial de 8 349 325,29 metros cuadrados localizados en la costa del océano Pacífico en el kilómetro 102 de la autopista Escuintla-Puerto Quetzal.

1.1.4. Misión

“Somos el puerto en el Litoral Pacífico de Guatemala, que a través de la prestación de servicios portuarios especializados, facilita el comercio marítimo internacional, para satisfacer las necesidades de nuestros clientes y contribuir al desarrollo del país”.¹

¹ <http://www.puerto-quetzal.com/web/guest/infogeneral/quienes>. Consulta: junio de 2014.

1.1.5. Visión

Ser en el año 2015, el puerto líder en la región centroamericana y sur de México, con terminales especializadas para cada tipo de carga, de acuerdo a las exigencias del transporte marítimo internacional”.²

1.1.6. Valores y principios

La empresa Portuaria Quetzal es una entidad plenamente al servicio de la sociedad. Contribuye a ella, a través de la responsabilidad y calidad que conceden como respuesta de las operaciones portuarias. La organización está comprometida con el progreso de los trabajadores, familias, comunidades vecinas y en general, con la sociedad guatemalteca, actuando oportunamente a las exigencias a que es sometida, reduce los errores y anticipa imprevistos que pueden mermar el desempeño.

1.2. Plantas de generación de energía eléctrica

Una planta de emergencia de generación de energía eléctrica es un sistema de equipos, que producen por combustión electricidad, donde y cuando escasea el flujo eléctrico. La clasificación de las plantas de emergencia se puede dar por el tipo de combustible, por la operación y por el tipo de servicio.

1.2.1. Motor de combustión interna

El control de la inflamación de combustible en volúmenes acondicionados, para aprovechar la energía calórica liberada y generada en ciclos intermitentes es labor de un motor de combustión interna. Fundamentalmente el combustible

² <http://www.puerto-quetzal.com/web/guest/infogeneral/quienes>. Consulta: junio de 2013.

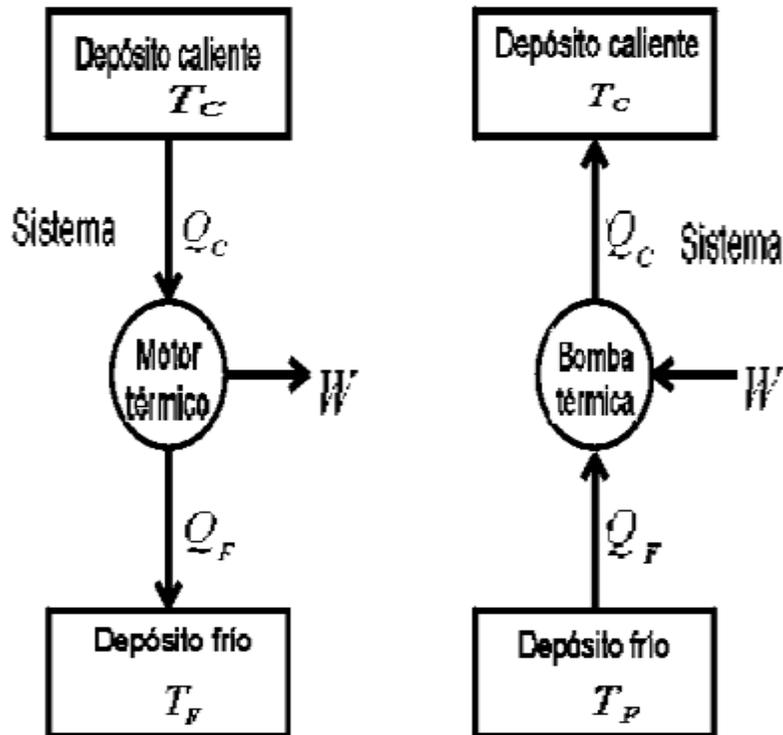
es mezclado con oxígeno, se comprime, se provoca la explosión y se genera movimiento que se transforma de lineal a circular.

Por el tipo de combustible los motores de combustión interna se clasifican en: gasolina y diésel. En el motor de diésel la combustión se produce por la compresión de oxígeno y combustible a volumen constante; y en el de gasolina a presión constante y con la ayuda de una chispa, producida por la acción de una bujía y otros elementos derivados del funcionamiento.

1.2.1.1. Principios básicos

El motor de combustión interna es un motor térmico, que produce trabajo al pasar de un centro caliente a un centro frío. De un sistema termodinámico se afirma que posee energía interna, aunque esta no se pueda cuantificar, sí es posible medir la variación que pueda sufrir. En la figura 1 se puede observar el esquema de dos sistemas termodinámico: en uno se realiza trabajo al pasar de un foco caliente a otro frío; y en el otro se requiere trabajo para pasar de un foco frío a uno caliente, tal es el caso de un motor térmico y una bomba mecánica, W denota el trabajo, T_c la temperatura del depósito caliente, T_f la temperatura del depósito frío, Q_c el calor en el depósito caliente, Q_f el calor del sistema en el depósito frío.

Figura 1. **Sistema termodinámico de un motor térmico y una bomba mecánica**



Fuente: *Termodinámica*. <http://dc352.4shared.com/doc/xKafRnJs/preview.html>.

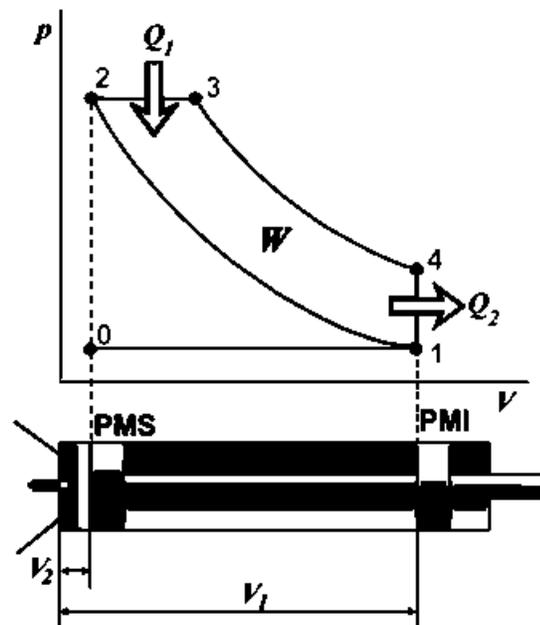
Consulta: 1 de agosto de 2013.

Los motores de combustión interna (MCI) utilizan la energía de los combustibles mencionados en 2 o 4 etapas que son: admisión, compresión, explosión y escape, dada la robustez de los motores de las plantas de emergencia los de 4 etapas son más eficaces. Las descripciones de los componentes y sistemas del motor de combustión de este estudio se basan en una de cuatro fases.

1.2.1.1.1. Ciclo termodinámico del motor diésel

El ciclo termodinámico diésel se puede representar en un diagrama presión contra volumen, como el que se muestra en la figura 2. Se puede contemplar que del punto 0 al punto 1 se produce el ingreso de aire a presión constante, por el movimiento hacia abajo del pistón; del punto 1 al punto 2 se da la compresión adiabática, por el movimiento hacia arriba del pistón; del punto 2 al punto 3 se genera la combustión a presión constante por el ingreso de combustible mediante los inyectores; del punto 3 al punto 4 se da la expansión adiabática.

Figura 2. Ciclo ideal diésel



Fuente: *Principios de termodinámica y motores térmicos.*

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~23005153/d_tecnologia/LIBRO/pdf/termopri.pdf.

Consulta: 8 de noviembre de 2013.

La letra W indica el trabajo que se produce y las flechas indican si es de entrada o salida. La letra Q indica el calor que se produce y las flechas representan si entra o sale. El área que se encierra constituye el trabajo total que se produce con el ciclo.

1.2.1.2. Elementos fijos

Existen componentes del motor que se encuentran asegurados e instalados para permanecer estáticos, por ende sin movimiento alguno estos son los elementos más robustos y son llamados elementos fijos del motor.

- Cárter de aceite

Es la parte inferior del motor, estructuralmente funciona para almacenar el lubricante que desciende por la fuerza de la gravedad de los elementos móviles, tales como: cigüeñal, árbol de levas, pistones, etc. estos se describirán más adelante. Dado que no soporta grandes presiones se fabrican de aleaciones ligeras como acero o hierro fundido.

- Bloque del motor

Es el elemento que soporta las partes móviles del motor. Son fabricados por lo general de hierro fundido de una sola pieza y completamente huecos para reducir el peso; contiene unas cavidades cilíndricas, comúnmente llamadas camisas, en forma de V, horizontales, opuestos o en línea y es el lugar donde se produce la compresión de la mezcla aire-combustible con ayuda de los pistones, elementos móviles (ver sección 1.2.1.3.); el diseño permite la circulación de aceite y agua en conductos dentro de las paredes.

- Culata

Estructura que cierra el bloque en la parte superior para que no existan pérdidas de presión en el proceso de compresión, en el interior se forma la cámara de combustión con la ayuda de los pistones; y por tanto la función es la de soportar la explosión del combustible, salida de los productos de escape, lubricación y refrigeración; además, de sostener los sistemas que proporcionan aire y combustible. Es comúnmente, fabricado de hierro para resistir las altas temperaturas que se forman por la combustión.

1.2.1.3. Elementos móviles

Los elementos móviles son los que poseen movimientos cíclicos dentro del motor; son los más expuestos a desgaste y a fallos por el intenso trabajo que producen.

- Pistones

Son cilindros huecos que se deslizan en las camisas del bloque hacia arriba y abajo en un movimiento rectilíneo que amortigua la explosión, la acción fundamental de los motores de combustión interna.

Posee unas ranuras en la parte exterior para alojar anillos que sirven para sellar herméticamente la cámara de combustión y lubricar los elementos que rodean al pistón. Por lo general se fabrican de hierro fundido para soportar las temperaturas de la combustión y las altas presiones (600 a 800 libras/pulgada cuadrada).

- Anillos del motor

Son aros de acero que se colocan en unas ranuras, normalmente son tres, y poseen los pistones. Los anillos existen de dos tipos: los que sirven para mantener la presión y los que funcionan para lubricar el pistón. Los primeros son denominados de fuego y son fabricados lisos y funcionan como transmisores de calor del pistón hacia los cilindros, para realizar un selle hermético y colaborar con la lubricación y amortiguación entre los cilindros y el pistón. Los segundos son denominados rascadores de aceite y son fabricados con unas ranuras que permiten la uniformidad en la lubricación del pistón y el cilindro, cuya función es la de proveer el paso del lubricante y mantener el nivel óptimo.

- Biela y bulón

El bulón es un perno de acero que atraviesa el pistón y es el encargado de unir la biela al pistón, es el elemento que mayor presión recibe en el motor. La biela es una pieza de acero muy resistente que funciona como elemento de unión entre el pistón y el cigüeñal, por lo que en los extremos posee puntos de rotación que permiten la conversión del movimiento rectilíneo del pistón a movimiento circular en el cigüeñal. A menudo contienen un canal en el interior para permitir el paso de lubricante a alta presión con dirección a los cilindros.

- Cigüeñal

Elemento del motor encargado de transformar el movimiento rectilíneo de vaivén de los pistones a movimiento circular, posee una especie de codos en los que se le unen las bielas mediante cojinetes cuyo número es proporcional al de los cilindros. Los apoyos son los que unen el cigüeñal al bloque del motor, estos poseen conductos a través de los cuales fluye lubricante hacia los codos. En un

extremo posee un engrane encargado de dar movimiento al sistema de inyección y distribución, una polea encargada de girar el ventilador, bomba de agua y alternador; en el otro extremo posee sujetado por tornillos el disco volante.

Está fabricado de aleaciones de acero para resistir las enormes presiones de torsión a las que está expuesto y mantener la estabilidad en toda la pieza, para ello el diseño involucra contrapesos en los codos para mantener un equilibrio dinámico y distribuye uniformemente la masa para obtener un equilibrio estático.

- Volante de inercia

La función del volante de inercia es completar el ciclo, iniciado por el movimiento que genera la explosión que mueve al cigüeñal, ya sea una o dos vueltas, esto gracias a la forma de disco circular que permite almacenar energía cinética y continuar girando por inercia.

Es importante también para el sistema de encendido, con forma de disco dentado permite que un motor de arranque se le acople y active el movimiento del cigüeñal y de esta manera poner en marcha al motor.

1.2.1.4. Elementos de distribución

Bajo este título se describen los mecanismos encargados de realizar la función de hacer transitar los componentes de la mezcla aire-combustible y los residuos de la combustión.

- Válvulas

Tienen la forma de un hongo, el sombrero es el que se encarga de obturar la entrada de aire y permitir la salida de los residuos de la explosión en los conductos de admisión y escape de la cámara de combustión. El movimiento es realizado por los balancines, que lo presionan por el instante apropiado para que cumpla la función; este regresa a la posición por el efecto de resortes, llamados muelles de válvula.

- Balancines

Actúan como palancas, apoyadas de un eje paralelo al cigüeñal, denominado eje de balancines, se aprovecha este contacto para hacer fluir lubricante a estas piezas ahuecadas de acero fundido y equipadas con cojinetes para evitar el desgaste, por un lado empujan hacia abajo a las válvulas de admisión y de escape y por el otro se les empuja por el movimiento de las levas o por el de las barrillas empujadoras.

- Árbol de levas

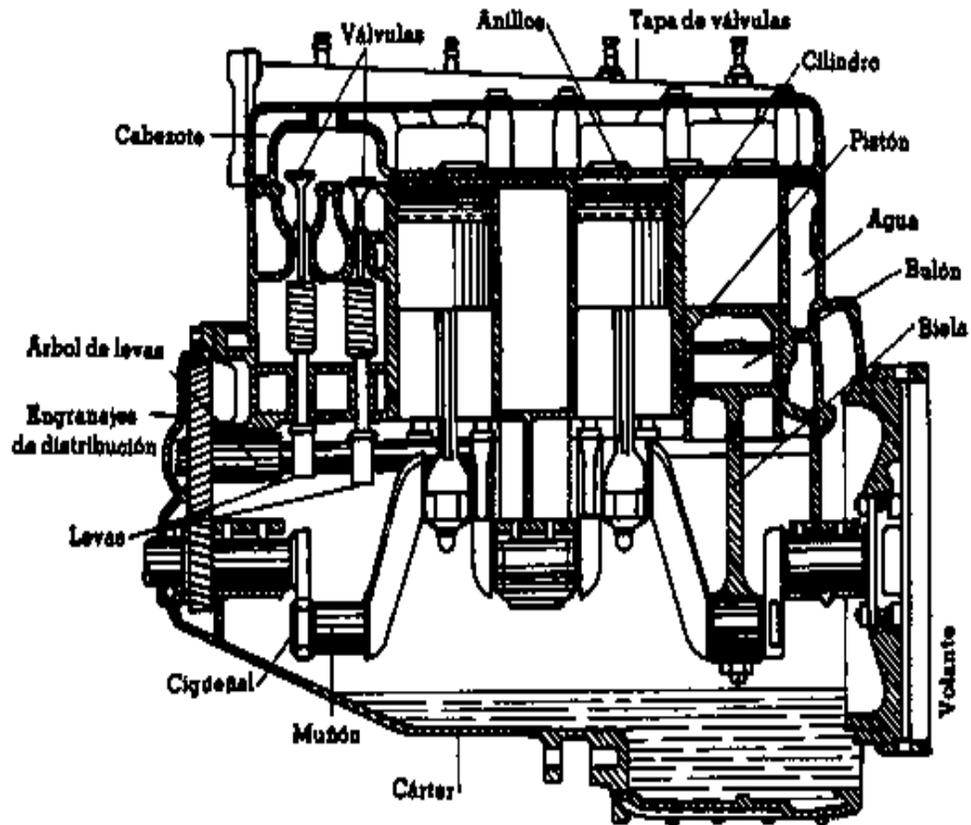
Una leva es una pieza excéntrica y que en el movimiento circular empuja por contacto, un extremo del balancín. Un árbol de levas no es más que un conjunto de levas alineadas a un eje. Este mecanismo es activado por el movimiento del cigüeñal y sincronizado con los tiempos del motor.

- Varillas de empuje

En algunos dispositivos donde el eje de levas y los balancines son dispuestos a una cierta distancia se coloca este elemento con forma de varilla, para alcanzar el efecto buscado que es el de mover los balancines por el movimiento de las levas. Son fabricadas de acero dado el constante movimiento

y la presión que deben resistir. La figura 3 muestra los elementos principales de un motor de combustión interna.

Figura 3. Elementos de un MCI



Fuente: MURILLO GARCÍA, Napoleón. *Tractores y maquinaria agrícola*. p. 27.

1.2.1.5. Sistema de refrigeración

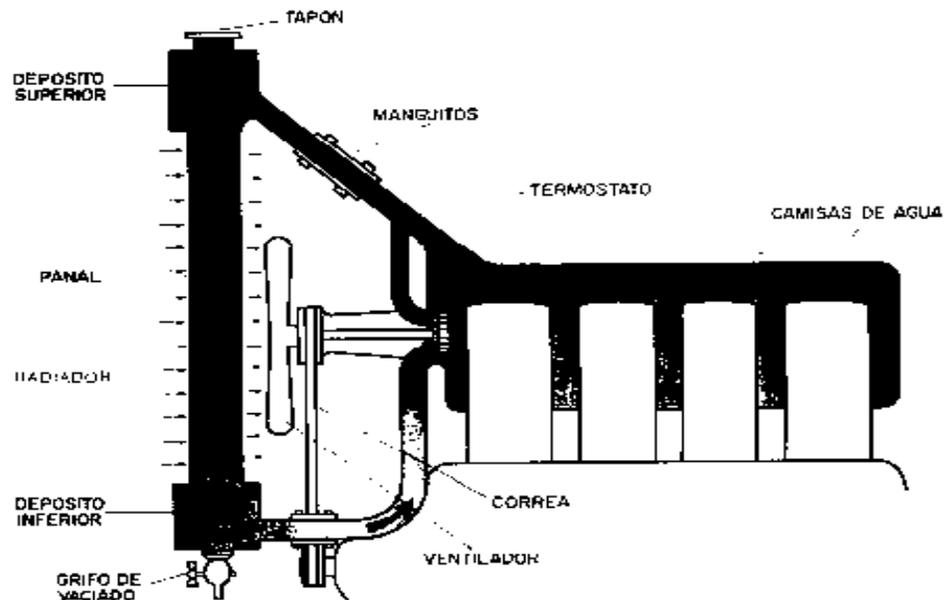
El sistema esencialmente funciona circulando refrigerante en el interior o aire en el exterior, con el fin de mantener normal la temperatura del motor. A temperaturas muy bajas, la combustión produce demasiada agua que se mezcla

con el lubricante y provoca: corrosión, incremento en el desgaste en piezas no dilatadas y reducción de la potencia del motor por el tipo de explosión y a temperaturas muy altas se sobrecalienta el lubricante y reduce la viscosidad, se deforman los metales al sobrepasar el punto de fusión y se produce un golpeteo por el encendido prematuro de la explosión.

En los motores estacionarios el enfriamiento se consigue circulando refrigerante, agua con aditivos anticongelantes y anticorrosivos, en el interior de conductos circundantes a la cámara de combustión (camisas de cilindro, válvulas, culata). La temperatura media que se debe mantener va de los 75 °C a los 85 °C en contraste con las temperaturas de entre 1 500 °C y 2 000 °C alcanzan en los alrededores de la cámara de combustión. En algunos motores se utilizan resistencias que calientan al refrigerante para evitar el arranque en frío, comúnmente llamados precalentadores.

Se reconoce la necesidad de enfriar el refrigerante por medio del termostato, instrumento que se vale del cambio de volumen de algunos materiales tales como cera, metales, aleaciones , etc. en función al cambio de temperatura. La conexión entre el motor y el radiador es realizada por mangueras hidráulicas que disponen de manguitos que sirven como uniones, pero, esencialmente la función es la de absorber las vibraciones del motor, en la figura 4 se muestran los componentes del sistema de refrigeración.

Figura 4. Sistema de refrigeración por agua



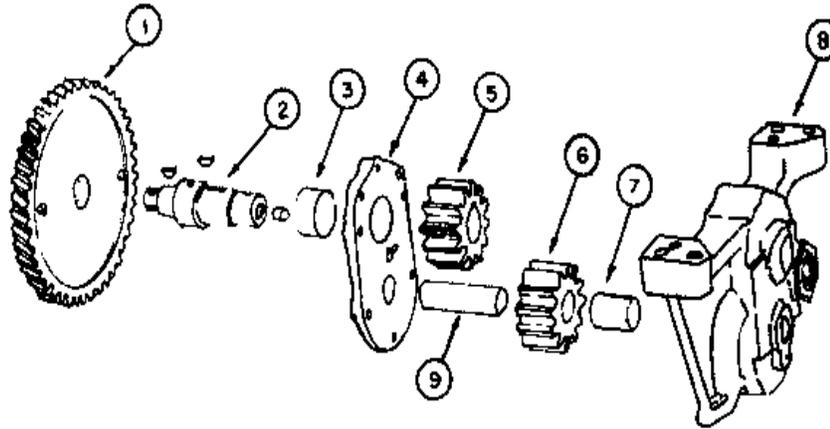
Fuente: ARNAL, Pedro; et all. *Tractores y motores agrícolas*. p. 142.

1.2.1.6. Sistema de lubricación

El sistema de lubricación induce la imposición de una película de lubricante entre las superficies, con el fin de evitar el contacto directo. Proporciona una limpieza de los residuos de la explosión y contribuye a evitar la corrosión, en conjunto con los anillos un cierre hermético entre el pistón y las paredes de las camisas de los cilindros.

La energía mecánica del motor acciona un bomba hidráulica que lo pasa por una válvula reguladora y filtro de aceite, lo expulsa para dirigirlo hacia los componentes que lo requieren. En la figura 5 se pueden observar los componentes de la bomba hidráulica.

Figura 5. **Esquema de una bomba de aceite**



- | | |
|-----------------------------------|------------------------------|
| 1. Engranaje de mando de la bomba | 6. Engranaje mandado |
| 2. Eje | 7. Cojinete de fricción |
| 3. Cojinete de fricción | 8. Caja de la bomba |
| 4. Tapa | 9. Eje del engranaje mandado |
| 5. Engranaje de mando | |

Fuente: GILARDI, Jaime. *Motores de combustión interna*. p. 72.

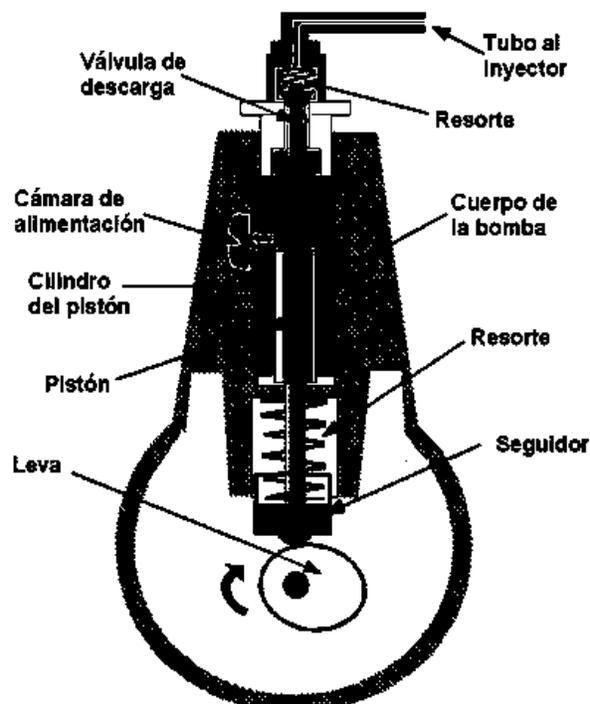
1.2.1.7. Sistema de alimentación y escape

La alimentación en los motores de combustión se comprende como la entrada de aire y combustible a la cámara de combustión. El aire entra al motor por la presión de vacío es recibido primeramente por el filtro de aire, luego conducido por una ramificación de tubos llamados múltiple de admisión que lo llevarán a cada uno de los cilindros; el aire entra en los motores de gasolina a la cámara de combustión mezclada con el combustible y en los de diésel independiente al combustible, es hasta este punto donde se observan las desigualdades en estos tipos de motores.

El combustible que se utiliza en los MCI requiere acatar la especificaciones del fabricante para operar adecuadamente tales como: la viscosidad, punto de

inflamación, punto de ebullición, densidad, poder calorífico, etc. en el país la industria del petróleo se resume a extracción de este, materia prima para la producción de diésel y es necesario recurrir a la importación de los combustibles a países productores tales como México, Estados Unidos, Venezuela, etc. sin embargo, la legislación guatemalteca presenta acuerdos para aceptar los combustibles como legales, dichas medidas se presentan en las páginas posteriores en tablas específicas para cada combustible.

Figura 6. **Bomba de inyección lineal**



Fuente: BRUZOS, Tomás. *Bomba de inyección*. <http://www.sabelotodo.org/automovil/bombainyeccion.html>. Consulta: 29 de julio de 2013.

La figura 6 exhibe los componentes esenciales de una bomba de inyección lineal. En los motores diésel se sustrae el carburante del depósito de combustible

por el efecto de una bomba de trasiego, que lo conduce hacia el filtro de combustible para limpiarlo de cualquier partícula y luego lo pasa a la bomba de inyección para que lo envíe a los inyectores.

1.2.1.7.1. Sistema de operación automático

La puesta en marcha de los motores de combustión industriales puede ocurrir de manera manual o automática, la manera manual se utiliza generalmente para darle los servicios de mantenimiento al motor y la manera automática es la que activa el motor sin la necesidad de personal.

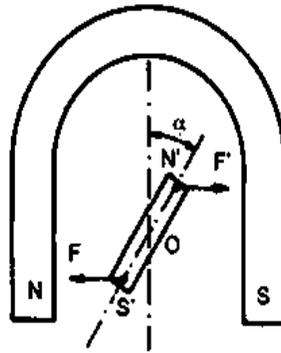
Es necesario que el motor posea una batería o acumulador para que almacene la energía que active el motor de arranque, como también generadores que propicien corriente directa y alternadores que produzcan corriente alterna, para cargar la batería y alimentar los sistemas, respectivamente; el voltaje y el amperaje se optimizan con el uso de un regulador.

El motor de arranque es esencial para aportar la energía inicial que permite vencer la fuerza de inercia del disco volante necesaria para, poner en marcha al motor por sí mismo. Funciona como un motor eléctrico de corriente continua que recibe energía de la batería, básicamente funciona por inducción electromagnética.

Según los principios electromagnéticos, al imaginar un imán en forma de U (como los imanes tienen la característica de atraer o repeler a otros imanes dentro del campo magnético según sean los polos iguales o desiguales, asumiendo que las puntas de la U representan el polo Norte y el polo Sur), al colocar un imán dentro de este otro como se observa en la figura 7 se crea un

par que hace girar, en sentido de las agujas del reloj, a este segundo imán, al que se encuentra dentro, hasta encontrar un equilibrio al quedar en posición horizontal.

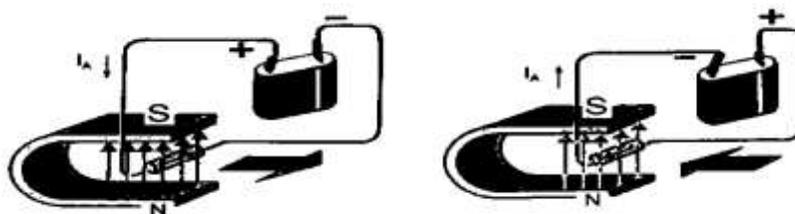
Figura 7. **Imán sometido al campo magnético de otro imán.**



Fuente: ALONSO PÉREZ, José Manuel. *Técnicas del automóvil: equipo eléctrico*. p. 162.

Otra peculiaridad del imán en forma de U es que, se coloca un conductor dentro del campo magnético (N, S) y se le agrega corriente se crea una fuerza que tiende a expulsarlo del campo magnético del imán como se observa en la figura 8.

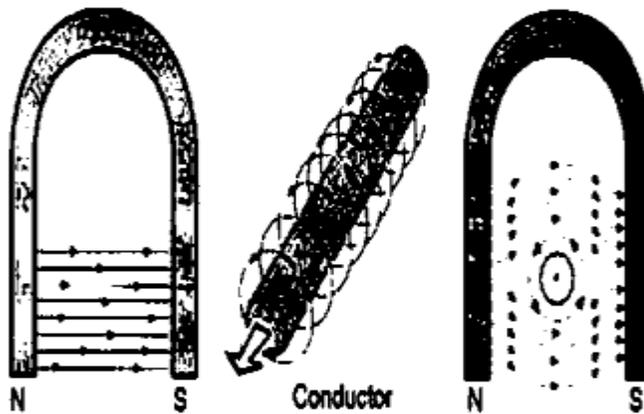
Figura 8. **Dirección del campo magnético y la fuerza expulsora**



Fuente: ALONSO PÉREZ, José Manuel. *Técnicas del automóvil: equipo eléctrico*. p. 162.

Es necesario para que ocurra movimiento que el conductor se encuentre perpendicular a la líneas del campo magnético, como se observa en la figura 9 de esta manera se transforma la energía eléctrica en energía mecánica en el motor de arranque.

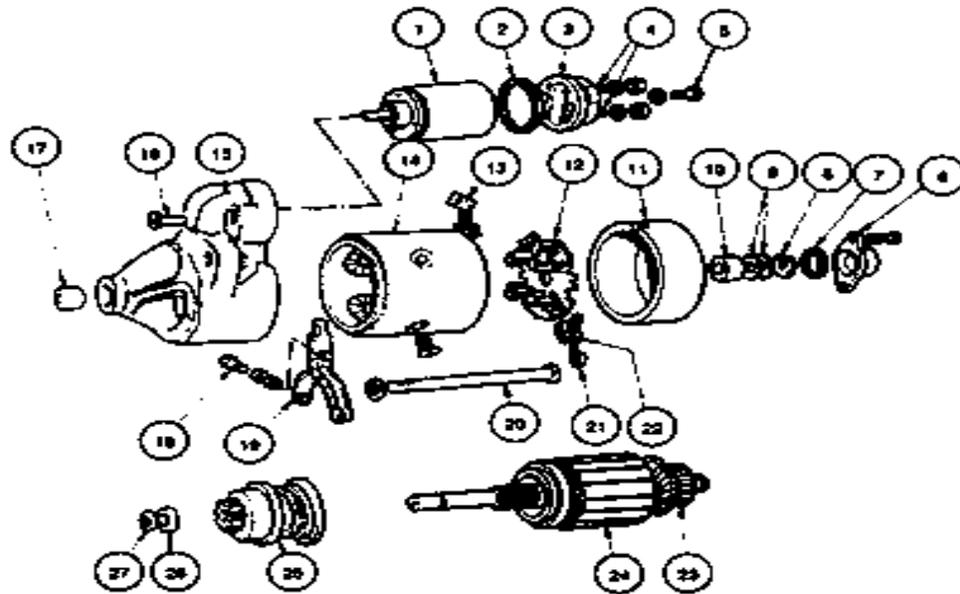
Figura 9. **Deformación del campo magnético de un imán por la acción de un conductor energizado**



Fuente: ALONSO PÉREZ, José Manuel. *Técnicas del automóvil: equipo eléctrico*. p. 163.

El motor de arranque utiliza un relé, dispositivo electromecánico controlado por un circuito eléctrico, el cual genera un campo magnético que produce el desplazamiento de un piñón y este hace que se acople al disco volante del motor, comúnmente este regresa por el mismo efecto de la velocidad del disco una vez haya alcanzado el pleno funcionamiento. La figura 10 muestra los componentes principales del motor de arranque de un MCI.

Figura 10. Componentes del motor de arranque sin engranes de reducción



- | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1. Cuerpo solenoide. | 11. Alojamiento extremo colector. | 20. Perno pasante. |
| 2. Junta. | 12. Conjunto caja escobillas. | 21. Muelle escobilla. |
| 3. Contactos y tapa interrup. | 13. Puente conexión. | 22. Escobilla. |
| 4. Terminales (principales). | 14. Caja principal (carcasa). | 23. Colector. |
| 5. Tornillo retención. | 15. Alojamiento extremo trans. | 24. Inducido. |
| 6. Tapa extremo. | 16. Tornillo retención solenoide. | 25. Conjunto piñón transmisión y embrague recillos. |
| 7. Retén. | 17. Casquillo cojnete. | 26. Collarín empuje. |
| 8. Grapilla en -C-. | 18. Tornillo pivote. | 27. Grapilla en -C-. |
| 9. Arandela guarnición. | 19. Palanca accionamiento. | |
| 10. Casquillo cojnete. | | |

Fuente: *Esquema del motores de arranque.*

<http://automecanico.com/auto2002/disnissan6.jpg>. Consulta: 8 de agosto de 2013.

1.2.2. Generador sincrónico

El generador sincrónico o alternador es una máquina sincronizada que convierte potencia mecánica en potencia eléctrica por el efecto que produce un campo magnético al estar expuesto a un conductor eléctrico en movimiento.

Estructural y sencillamente el dispositivo se compone de una parte estacionaria llamada estator y una parte rotativa llamada rotor.

Un devanado es el resultado de enrollar alambre a un eje de hierro o algún metal ferromagnético, en el generador sincrónico, se le coloca al eje del rotor y se le conoce como devanado de campo, también se le aplica a la armadura del estator y se le conoce como devanado de armadura. A los devanados cuando se les induce corriente crean un campo magnético que produce un flujo magnético relacionado directamente con el número de vueltas que lo componen y la intensidad de la corriente que se le suministra.

Para el funcionamiento del generador sincrónico deben producirse dos campos magnéticos: uno como resultado de la estructura y los materiales del estator; y el otro ocasionado por el rotor, el cual necesita una corriente directa que se le proporciona desde una fuente externa mediante escobillas que conducen la electricidad a anillos rozantes que se encuentran fijos al eje y conectados al devanado o bien mediante la instalación de un pequeño generador con el devanado de campo en el estator y el devanado de armadura en el rotor y se convierte la salida trifásica del generador a corriente directa utilizando un circuito rectificador trifásico.

El campo magnético del devanado del rotor se convierte en campo magnético rotacional cuando acontece el giro del rotor mediante el motor primario que puede ser una turbina de vapor, eólica, un motor de combustión, etc. y este campo induce en el devanado del estator un voltaje trifásico al cerrar el circuito.

El voltaje interno generado en el generador es directamente proporcional a la velocidad de rotación, la cual debe ser constante para mantener igualmente la

frecuencia y al flujo, y el flujo respectivamente, depende entre otras cosas, del número de vueltas del devanado y de la intensidad de la corriente directa que le es proporcionada.

1.2.3. Depósito de combustible

Se conoce como depósito de combustible al lugar donde se almacena combustible líquido con el fin de abastecer a diferentes equipos como las calderas, los incineradores, los MCI, etc. es conveniente que tenga características que permitan que el combustible a suministrar se mantenga limpio, esto es: sin condensados, lodos, óxidos y aire. El material del que están fabricados puede ser variado, por lo general el más utilizado es el de tipo SAE 1010 que significa que es de acero al carbono con un porcentaje entre 0,08 % y 0,13 % de carbono.

El depósito de combustible no debe poseer algún tipo de acabado interno para evitar daños al sistema de inyección de los equipos. Estos instrumentos se pueden encontrar sobre la superficie a una altura tal que suministre el combustible a una presión adecuada o enterrado bajo la superficie, necesitando para ello una bomba que expulse el combustible.

Los depósitos de combustible cuentan con una boca para el llenado con tapadera hermética, un indicador del nivel de combustible, salidas de condensados, línea de succión, retorno de combustible y drenaje. La posición de la línea de succión tiene que ser tal que la posición no permita que los lodos acumulados en el fondo del tanque sean conducidos al equipo. Se deben tomar medidas para el caso de derrames accidentales tales como diques estancos, muros de retención o sistemas de encausamiento y de cualquier descarga magnética que se pueda provocar en el ambiente.

1.3. Ahorro de energía optimizando el uso del combustible

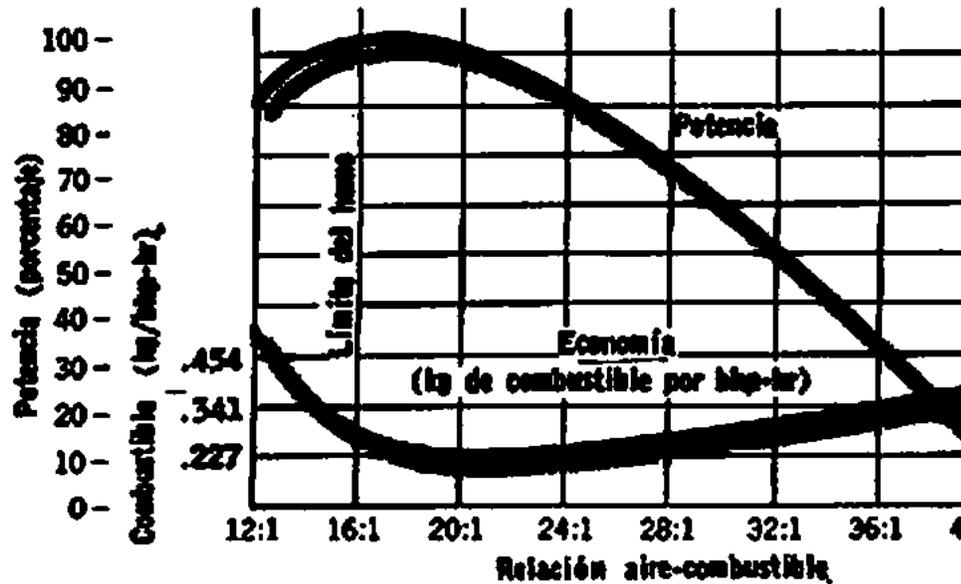
Es imprescindible conocer maneras de ahorrar combustible, en la actualidad el combustible más popular y utilizado proviene del petróleo y por provenir de una fuente de energía no renovable el ahorro es de suma importancia por el efecto en la salud humana, el calentamiento climático y la propia economía de los usuarios.

1.3.1. Relación aire-combustible

En un inicio los motores de combustión eran muy deficientes en consumo y compresión de las mezclas de aire y combustible. El desarrollo de las aplicaciones y utilidad, incrementó la necesidad de mejorarlo, las relaciones de compresión, el diseño del motor, la calidad y proceso de los materiales, los sistemas de inyección y lubricación y el aprovechamiento de los gases de escape mejoraron constantemente, alrededor del inicio del siglo XIX, por factores económicos, más sin embargo, en la actualidad se le ha sumado el importantísimo factor relacionado al cuidado ambiental.

La máxima economía de combustible se obtiene al lograr su quema total en las cámaras de combustión, análogo a esto, la máxima potencia se obtiene de la completa utilización del aire que entra a la cámara de combustión, no es posible obtener una potencia máxima cuando no se hayan evacuado los gases de las cámaras de combustión; la figura 11 muestra la gráfica de potencia vs. mezcla aire-combustible para los motores diésel.

Figura 11. Potencias vs. aire-combustible en un MCI diésel



Fuente: Universidad de Colombia.

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/2001766/Temas/General/09_RelacionAC.htm

Consulta: 17 de septiembre de 2013.

Un método sencillo y usualmente aceptado para medir el consumo específico de combustible es utilizando una balanza que mida la disminución en peso del combustible conforme se valla consumiendo, lógicamente, se debe mantener una velocidad constante en un tiempo determinado.

Las cantidades de los compuestos químicos de la mezcla aire-combustible se pueden obtener, asumiendo que la gasolina se quema completamente mediante una relación estequiométrica. La medición de la relación de aire combustible es útil para determinar la eficiencia del motor.

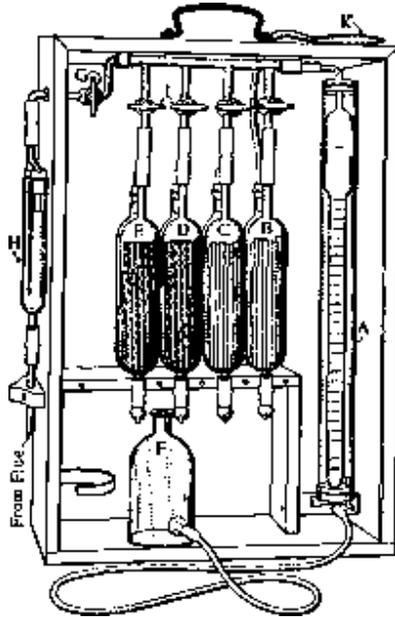
1.3.2. Análisis Orsat

El análisis Orsat identifica las cantidades de CO_2 (dióxido de carbono), hidrocarburos no saturados, O_2 (oxígeno), CO (monóxido de carbono), presentes en el humo producto de la combustión. Con el fin de establecer si la combustión es completa o no, cuenta con una bureta que esta sellada por tres mangueras una para recibir el gas a medir, otra para la evacuación del gas y la última para transportar el gas hacia distintas pipetas de absorción, que se encargarán de separar las sustancias que se desean medir.

Por lo general se toma una muestra de 100 mililitros de gas de escape, se debe igualar la presión del gas con la presión atmosférica, se almacena, se envía abriendo una llave de paso a la primera bureta que contiene hidróxido de calcio para absorber el CO_2 , se regresa el gas a la bureta de almacenaje, se despacha a la segunda bureta que contiene ácido pirogálico para absorber el oxígeno presente en el gas, por último se envía el gas hacia la bureta que contiene una solución de cloruro cuproso para absorber el CO presente en el gas, se le pueden agregar más buretas absorbedoras para medir otros componentes como el SO_2 y el N_2 , es de considerar que el gas restante es considerado como nitrógeno (N).

A pesar de ser un método muy antiguo y de realizar la suposición que el gas está seco los resultados son muy aproximados y confiables como los métodos electrónicos de la actualidad. En la figura 12 se muestra como luce el aparato Orsat.

Figura 12. **Aparato Orsat**



Fuente:<http://www.vidrafoc.com/vidrafoc/Store/Product.aspx?LanguageID=es&ProductID=634/12>.

Consulta: noviembre de 2013.

1.3.3. **Sensor de oxígeno**

El sensor de oxígeno o sonda Lambda es un dispositivo que se coloca en el tubo de los gases de escape, regularmente uno después del catalizador, o bien, para mayor precisión, en la salida de los gases de escape de cada cilindro. La función es emitir una señal en forma de voltaje, la cual es interpretada por el sistema electrónico de inyección como la relación de aire-combustible que se tiene presente para la corrección inmediata.

El sensor de oxígeno consta de platinos, óxido de zirconio y un elemento calefactor; el óxido de zirconio se encuentra dispuesto de tal manera que de un lado roza con los gases de escape y del otro con aire atmosférico, el óxido de

zirconio tiene adherido de ambos lados platinos, que se encargan de transmitir el voltaje al circuito de control, generado por la variación que ocurre en el óxido de zirconio al corroerse de un lado cuando es comparado con el lado expuesto al aire atmosférico. Es de notar que si el sensor de oxígeno se encuentra a temperaturas bajas, este funciona esencialmente como una resistencia hasta alcanzar una temperatura adecuada que regularmente está por encima de los 400 °C, para acelerar este proceso se disponen de un elemento calefactor.

El factor Lambda se deriva de la estequiometría, que la definió Jeremias Benjamin Richter como: “La ciencia que mide las proporciones cuantitativas o relaciones de masa de los elementos químicos que están implicados (en una reacción química)”, esta, propone que 14,7 partes de aire por 1 de combustible es la mezcla ideal, es decir, se quema justamente todo el combustible y el oxígeno; y es cuando el factor Lambda toma el valor de 1, en una mezcla pobre, mayor cantidad de aire, el factor Lambda es inferior a 1 y en una mezcla rica, menor cantidad de oxígeno, el factor Lambda es mayor que 1.

1.3.4. Aditivos mejoradores del rendimiento

Los aditivos mejoradores del rendimiento optimizan el consumo de combustible de los motores porque permiten que la activación de las moléculas de los elementos pesados o asfáltenos se dé a una temperatura menor. Estos elementos asfáltenos necesitan altas temperaturas, mayores que los 600 °C para romper la estructura molecular, son los que más tiempo requieren para quemarse; las pastillas mejoradoras del rendimiento colaboran reduciendo la temperatura de estos elementos para realizar una combustión completa en todo el cilindro y por ende se evita la formación de depósitos de carbón dentro de los cilindros; otros aditivos que incorpora funcionan como lubricante por lo que se reduce el desgaste y aumenta la vida útil del lubricante; también contienen

anticorrosivos que de alguna manera mejoran el consumo de combustible. Con el uso de estos aditivos se puede llegar a reducir el consumo de combustible de un 5 % a un 20 %.

1.3.5. Generación y demanda de electricidad

Muchas veces lo que ocurre con el flujo eléctrico son los denominados apagones y solo ocurren por escasos segundos, esto puede inducir a un arranque prematuro del motor. Al retornar el flujo eléctrico, el motor puede otorgar un tiempo prudencial para dejar de funcionar, asuntos como estos pueden derivar en mínimas pérdidas de combustible, por la relación desempeño/ahorro de combustible.

Un controlador lógico programable (PLC) es un dispositivo electrónico, parte del tablero de transferencia, que es compuesto por una memoria programable que asimila instrucciones para ser llevadas a ejecución de manera rutinaria, estos dispositivos remplazan a los circuitos secuenciales de relevadores. En la estructura interna tienen una sección de entradas, salidas y la unidad central de proceso (CPU); en las entradas se ingresa información bien de tipo analógico o digital, se le pueden unir pulsadores, captadores pasivos, detectores fotoeléctricos etc., utilizada por el CPU según sea la programación en tiempo real.

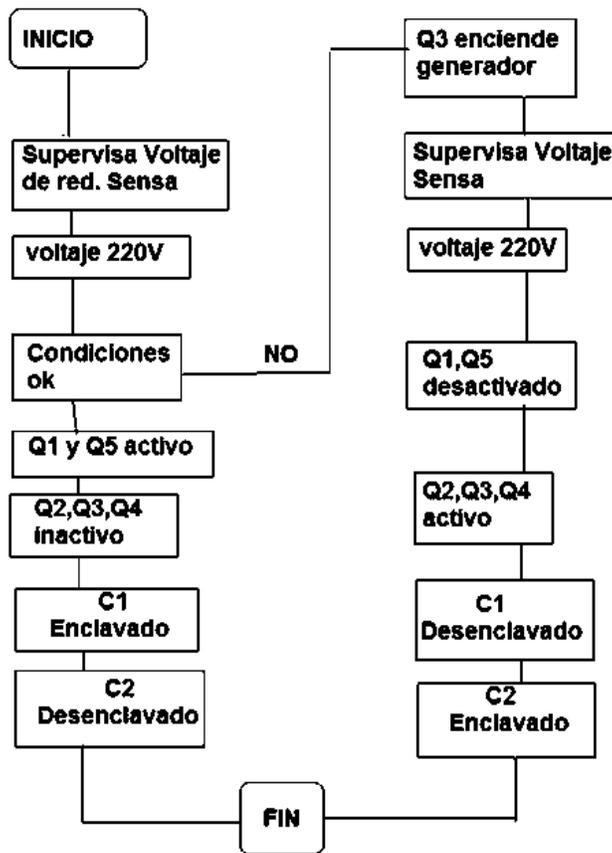
Los elementos que se deben considerar para el diseño del PLC son:

- El voltaje de la red
- Voltaje en el grupo de emergencia

- Rango de +/- 10 % del voltaje nominal
- Carencia de una o más fases del voltaje.

En la figura 13 se visualiza un esquema de la lógica de control que efectúa el PLC, la letra Q designa el canal de salida.

Figura 13. **Diseño de la lógica de control de un PLC**



Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2082/1/CD-1738%282008-10-14-10-26-10%29.pdf>. Consulta: 15 de julio de 2014.

1.4. Combustibles

Un combustible es cualquier material capaz de arder con facilidad y desprender energía al oxidarse violentamente produciendo como residuo, calor. Se encuentran originalmente en estado sólido, líquido y gaseoso, como es el caso de la leña, la gasolina y el gas natural, respectivamente.

1.4.1. Clasificación

Generalmente los combustibles se clasifican conforme al estado en que son utilizados, así: combustibles sólidos, combustibles líquidos y combustibles gaseosos. Actualmente, en la mayoría de los casos, el combustible líquido es el más utilizado en los motores de combustión.

1.4.1.1. Combustibles sólidos

Son los combustibles consistentes, para utilizarlos es necesario almacenarlos y mantenerlos continuamente, cuando arden evaporan el combustible sin variar rápida y repentinamente su carga y eventualmente se descomponen por el calor. Los combustibles sólidos se clasifican como naturales y elaborados; dentro de los primeros se encuentran: la leña, la biomasa y los carbones; y dentro de los segundos se mencionan: los carbones fabricados y el petróleo.

1.4.1.2. Combustibles líquidos

Son los que encuentran en estado líquido y tal motivo hace que su flama sea más radiante; se pueden clasificar como: derivados del petróleo, elaborados y renovables; por citar algunos ejemplos se mencionan: gasóleo, diésel y

biodiésel, respectivamente. Para utilizarlos adecuadamente, en los motores de combustión, se extrae del depósito y luego se les pulveriza.

1.4.1.3. Combustibles gaseosos

Según la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) los combustibles gaseosos se clasifican en tres familias: la primera, la constituyen los gases que son manufacturados o sea industriales, tales como el metano (CH_4), el acetileno (C_2H_2), el propano (C_3H_8); en la segunda, se encuentra el llamado gas natural, este se encuentra en los yacimientos de petróleo aunque también se puede obtener de la descomposición de organismos; la tercera, lo integran los gases que son licuados del petróleo (GLP), que prácticamente es una mezcla entre propano y butano presentes en el gas natural y en el petróleo. Un aspecto peculiar de este tipo de combustibles es el mínimo de las emisiones contaminantes al ambiente NO_x .

1.4.2. Características

Cada uno de los tipos de combustibles presentan propiedades distintas, pero la propiedad que comparten es el llamado poder calorífico y hace referencia a cuanto energía desprende el combustible durante la combustión por unidad de masa, las dimensiones son: julio dividido kilogramo, para el sistema internacional y BTU dividido libra, para el sistema inglés.

Algunas de las características más significativas, para los motores de combustión, de los combustibles líquidos son: la densidad y la viscosidad, muy influyentes para el diseño de los componentes de inyección; el punto de inflamación, determina la temperatura a la cual comienza a desprender vapores inflamables el combustible; el índice de acidez, evidencia la facilidad del

combustible de corroer los metales; el índice de cetano, indica el tiempo en que tarda el combustible en iniciar la combustión, entre más alto es el índice más rápido inicia la combustión, por lo que es de mayor calidad la combustión, esta característica es muy influyente en los motores diésel. El índice de octano, que hace referencia a la capacidad antidetonante del combustible, entre más alta sea la relación de compresión en los motores gasolina se busca que el índice sea más alto a manera de que no detone prematuramente el combustible; y el índice de contenido de azufre que muestra el contenido de azufre del combustible, un dato útil para determinar la contaminación por SO_x que se produce como residuo de la llama.

1.4.3. Petróleo

La palabra petróleo tiene origen del griego *petroleum* que traducido literalmente significa aceite de roca. Es una sustancia aceitosa e inflamable, se forma naturalmente por la descomposición de organismos vegetales sometidos a enormes presiones en las profundidades del manto rocoso por los productos de su descomposición a través de millones de años. Los principales componentes son los hidrocarburos, compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno.

El uso del petróleo se remonta al comienzo de muchas de las civilizaciones, más sin embargo, fue en las postrimerías del siglo XVIII cuando comenzó a extraerse petróleo de debajo de la tierra para la comercialización.

Las proporciones de los productos del petróleo están regulados según estándares internacionales. Las características del petróleo pueden variar según sea el lugar de su procedencia esto conlleva a que la extracción no siga un procedimiento estándar. La tabla I muestra los rangos de las proporciones de los

componentes que conforman al petróleo, esto es independientemente del lugar donde se extraiga.

Tabla I. **Componentes del petróleo**

ELEMENTO	MÍNIMO (%)	MÁXIMO (%)
Carbono	75.9	88.7
Hidrogeno	9.6	14.8
Oxígeno	0.1	6.9
Nitrógeno	0.02	1.1
Azufre	0.01	2.2

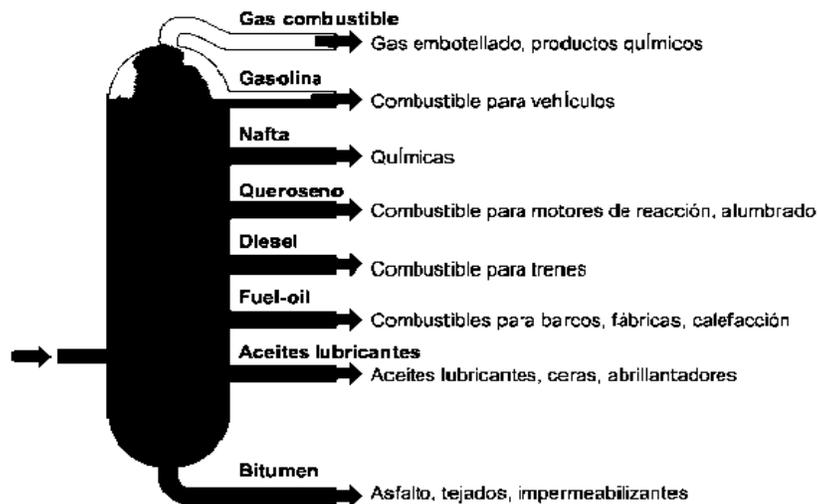
Fuente. NEWBERRY, Jorge Alejandro; TIERRY, Justino C. *El Petróleo*. p. 70.

Para localización de los yacimientos se utilizan sismógrafos que son instrumentos que reciben ondas generadas por explosiones de manera conjunta, se requiere equipo radioactivo, ciertamente, para estar seguros. Para la extracción del petróleo, que regularmente se encuentra a una profundidad que va de los 3 000 metros a los 6 000 metros, se perfora el pozo mediante un taladro de acero endurecido que gira con un movimiento circular. El petróleo extraído se transporta a las refinerías por medio de oleoductos o a los buques de transporte para dirigirlo, de igual manera, a las refinerías.

Una refinería es un lugar que contiene las instalaciones adecuadas para tratar materiales con el fin de hacerlo más fino o más puro, el componente esencial en una refinería de petróleo es la torre de destilación fraccionada, esta almacena los diferentes compuestos del petróleo conforme estos alcanzan el punto de ebullición. En la figura 14 se muestra una torre de destilación

fraccionada en donde el petróleo entra alrededor de los 400 °C, produciendo bitumen por el orden de los 350 °C hasta llegar a la parte más alta de la torre (50 metros) a una temperatura de 50 °C.

Figura 14. **Torre de destilación fraccionada**



Fuente: Fundación Erosiky. *Ciencia y Tecnología*.

http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/10/31/147662.php.

Consulta: 29 de diciembre de 2013.

1.4.3.1. **Combustible diésel**

El combustible diésel se consigue durante la destilación fraccionada a un límite máximo para la condensación de 270 °C, procedimiento por el cual se reduce la cantidad de azufre, aunque con esto se pierden las propiedades lubricantes, lo cual perjudica al sistema de inyección de los MCI.

El combustible gasóleo es el que se utiliza en los motores diésel, en este tipo de motores se busca que el combustible se autoinflame rápidamente por lo

que conviene que el combustible tenga un porcentaje de cetano (hidrocarburos saturados (sin anillos ni enlaces múltiples), cuya fórmula química es $C_{16}H_{34}$), relativamente elevado. En la tabla II se exponen las características y especificaciones que aprueba la legislación guatemalteca para garantizar la calidad del combustible diésel en el país.

Tabla II. **Especificaciones para el diésel**

CARACTERÍSTICA	UNIDADES	MÉTODO ASTM	VALORES
Apariencia	-----	D-4176	Claro y Brillante ^(a)
Aditivos	-----	-----	Reportar ^(b)
Color ASTM	-----	D-1500	Reportar
Índice de cetano calculado	-----	D-976	45 mín
Número de cetano [©]	-----	D-613	45 mín
Corrosión tira de cobre, eh, 50°C	-----	D-130	No.2.máx
Contenido de cenizas	Facción de masa (%masa)	D-482	0.01 máx
Contenido de azufre total	Facción de masa (%masa)	D-129	0.50 máx
Residuo de carbón Conradson en 10% residuo (nota 1) o Residuo de carbón Ramsbottom en 10% residuo (Nota 1)	Facción de masa (% masa)	D-189	0.10 máx
		D-524	0.13 máx
Agua y sedimentos	Facción de volumen (% volumen)	D-2709	0.05 máx
Punto de inflamación (Flash Point)	°C	D-93	52 mín.
Gravedad API a 15.56°C (60°F) o densidad a 15 °C	°API Kg/m ³	D-287 D-1298	Reportar
Punto de escurrimiento	°C	D-97	Reportar

Continuación de la tabla II.

Punto de enturbamiento	°C	D-2500	0 máx.
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s ^(d)	D-445	1.0-4.1
Destilación			
10% recuperados	°C	D-86	Reportar
50%recuperados	°C		Reportar
90%recuperados	°C		360 máx
Punto final de ebullición	°C		Reportar
Aromáticos	Fracción de volumen (% volumen)	D-1319	Reportar ^(a)

^(a) Si el producto cumple con los valores establecido en este reglamento, se considerará apto para la venta aun cuando su apariencia no sea claro y brillante.

^(b) La información que se debe presentar para cada aditivo que se agregó a este producto es la siguiente:

Hoja de Datos de Seguridad del Material (“Material Safety Data Sheet”)

Proporción agregada del aditivo (mezcla)

Propiedad del producto que el aditivo genera o mejora en el mismo, ejemplo: antiespumante, antioxidante, detergente, etc.

Si se mantiene la fuente de suministro, la información se debe proporcionar únicamente una vez, pero debe informar al Ente Nacional Competente, cada vez que éste cambia de aditivo y también cuando se cambia la fuente de suministro.

^(c) Si el valor del Índice de cetano calculado es menor a 45 se debe realizar la prueba del número de cetano.

$$1\text{mm}^2/\text{s}=\text{Cst}$$

Fuente: Ministerio de Energía y Minas (Guatemala). *Acuerdo Ministerial 399-2012. Nómina de productos petroleros con sus respectivas denominaciones, características y especificaciones de calidad.* Consulta: 10 de diciembre de 2013.

El combustible diésel se compone aproximadamente de 75 % de hidrocarburos saturados y de 25 % de hidrocarburos aromáticos, denominados así por el olor característico que poseen, utilizados en las industrias para producir plásticos, gomas lubricantes, nilón, etc.

1.4.4. Biomasa

La biomasa es toda sustancia de origen biológico susceptible de producir energía, excluyendo a aquella que se originó debido a transformaciones geológicas en un proceso de mineralización. El combustible de la biomasa ha sido el más antiguo utilizado, hasta que la necesidad creciente provocó el remplazo por las fuentes fósiles alrededor del siglo XVIII. Cerca del 80 % de la energía que se utiliza proviene del petróleo, un 13 % de las plantas nucleares y un 6 % de las energías renovables. Dentro de este 6 % destacan el uso de materia orgánica para producir energía.

La incineración de la biomasa no contribuye a la creación de gases del efecto invernadero, ya que el carbono que se libera forma ya parte del carbono actual. Existen instalaciones dedicadas a producir energía a través de la biomasa utilizando para ello residuos de podas, residuos agroforestales, cultivos con fines energéticos.

1.4.4.1. Biodiésel

El biodiésel se define como “el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diésel” según la American Society for Testing and Materials (ASTM).

El poder calorífico del biodiésel es de 37,27 megajulio dividido litro, las variaciones de este poder calorífico dependen más de la materia prima utilizada que del proceso de producción, que regularmente es un 9 % menos que el diésel mineral; el biodiésel es líquido a temperatura ambiente y el color varía entre dorado y marrón oscuro según el tipo de materia prima usada. El punto de

inflamación (superior a 130 °C), es mucho mayor que el diésel (64 °C), o la gasolina (-40 °C), la densidad es de aproximadamente 0,88 gramos sobre centímetro cúbico, menor que el del agua; en general se requiere un aceite refinado libre de sólidos en suspensión y con un mínimo de acidez < 1% y de humedad < 0,5 %. En la tabla III, se pueden observar las especificaciones técnicas que aprueba la legislación guatemalteca respecto del uso de biodiésel.

Tabla III. **Especificaciones para el biodiésel**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	MÉTODO DE ANÁLISIS	VALORES
Aditivos	-----	-----	Reportar ^b
Contenido de ésteres	Fracción de masa (% masa)	EN 14103	0,965 (96,5) mín.
Gravedad API a 15.56°C (60°F) o Densidad a 15 °C	° API Kg/m ³	ASTM D-287 ASTM D-1298	Reportar
Estabilidad a la oxidación, 110 °C	H	EN 14112	6,0 mín
Punto de inflamación ("Flash point)	°C	ASTM D 93	130,0 mín. ^c
Agua y sedimentos	Fracción de volumen (% volumen)	ASTM D 2709	0,00050 (0,050) máx.
Viscosidad cinemática a 40°C.	mm ² /s	ASTM-D 445	1,9 – 6,5 ^d
Ceniza sulfatada	Fracción de masa (% masa)	ASTM D 874	0,00020 (0,020) máx.
Contenido de azufre total ^e	mg/kg	ASTM D 5453	15 máx.
Corrosión tira de cobre, 3h, 50°C	-----	ASTM D 130	N° 3 máx
Número de cetano	-----	ASTM D 613	47 mín
Punto de enturbamiento ^d	°C	ASTM D 2500	Reportar
Residuo de carbón ^f	Fracción de masa (% masa)	ASTM D 4530	0,00050 (9,050) máx.

Continuación de la tabla III.

Número ácido	Mg KOH/g	ASTM D 664	0,50 máx.
Glicerina total	Fracción de masa (% masa)	ASTM D 6584	0,00240 (0,240) máx.
Contenido de fosforo	Fracción de masa (% masa)	ASTM D 4951	0,00001 (0,001) máx
Temperatura de destilación, temperatura equivalente atmosférica, 90% recuperado	°C	ASTM D 1160	360 máx.
Sodio (Na) y potasio (K) combinados	mg/kg	EN 14538	5 máx.
Calcio (Ca) y magnesio (Mg) combinados	mg/kg	EN 14538	5 máx.

(a) Si para cumplir condiciones especiales de operación de equipos que requieran, por razones técnicas, especificaciones de calidad diferentes a las indicadas en esta tabla, el Ente Nacional Competente podrá autorizar mediante resolución razonada, la modificación de las mismas.

(b) La información que se debe presentar para cada aditivo que se agregó a este producto es:

Hoja de datos de seguridad, proporción agregada, propiedad del producto.

(c) El límite superior de viscosidad de 6.5mm²/s, es más alta que el del diésel base petróleo y debe ser tomado en cuenta cuando sea utilizado para mezcla.

(d) El B100 es esencialmente libre de azufre.

(e) El punto de enturbamiento del biodiésel es generalmente más alto que el del diésel base petróleo y debe ser tomado en cuenta cuando sea utilizado para mezcla

(f) El residuo de carbón debe ser obtenido del 100% de la muestra.

Fuente. Ministerio de Energía y Minas (Guatemala). *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA. 75.02.43:07. Referencia 2, 2012.* Consulta: 16 de diciembre de 2013.

Teóricamente, el biodiésel se puede extraer de cualquier triglicérido, tanto de origen animal como vegetal. En la práctica lo habitual es utilizar aceites vegetales, aunque en algunos países con importante tradición ganadera como Australia o Argentina se pueden encontrar proyectos de transformación de biodiésel a partir de grasas animales. En la tabla IV se visualiza la diversidad de fuentes de donde se puede extraer materia prima para la elaboración de biodiésel.

Tabla IV. **Fuentes de los aceites utilizados para la producción de biodiésel**

LAS FUNTES DE ACEITE DE BIODIÉSEL	FUENTE ORGÁNICA DEL ACEITE
Aceites vegetales convencionales	Aceite de girasol, aceite de colza, aceite de soja, aceite de coco, aceite de palma
Aceites vegetales alternativos	Aceite de <i>Brassica carinata</i> , aceite de <i>Cynara cardunculus</i> , aceite de <i>Camelina sativa</i> , aceite de <i>Crambe abyssinica</i> , aceite de <i>Pogonius</i> , aceite de <i>Jatropha curcas</i>
Aceites de semillas modificadas genéticamente	Aceite de girasol de alto oleico
Grasas animales	Sebo de vaca, Sebo de búfalo, grasa de pollo, grasa de pescado
Aceites de fritura usados	
Aceites de otras fuentes	Aceites de producciones microbianas, aceites de microalgas bacterias y hongos

Fuente: elaboración propia.

En ocasiones también se utiliza aceite usado de fritura aunque este no sea viable por problemas como la recolección, tratamiento de impurezas y humedad; por ello, la producción de biodiésel a partir de aceite usado es en la práctica una cuestión más relacionada con el reciclado y eliminación del impacto ecológico que puede tener la liberación sin control de este producto, que una verdadera alternativa energética.

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Biocombustibles como alternativa

El biodiesel mejora la lubricidad del sistema de inyección aunque, con su mayor densidad requiere un pequeño calentamiento para mejorar el caudal del flujo de combustible y su menor valor energético implica la necesidad de utilizar un mayor volumen.

El biodiésel que se produce en Guatemala es sustraído mayormente de los aceites de las plantas de *Jatropha curcas*, en gran parte por el aceite no comestible y la resistencia a la sequía y *Eleasis guineensis*, que se produce en Guatemala por el orden de 350 mil toneladas de aceite crudo, en 2013 la palma de aceite ocupa 120 000 hectáreas es decir, alrededor del 4 % del total de la tierra cultivable del país.

El rendimiento energético del ciclo de vida de un biocombustible es igual a la energía del combustible más la energía de sus coproductos (cuando en una empresa se fabrican uno o dos productos diferentes, utilizando las mismas materias primas), dividido por el total de la energía primaria utilizada en la producción, este indicador es importante para los análisis de la eficiencia tecnológica y energética.

2.1.1. Datos técnicos de los motores

La Planta de Emergencia de la empresa Portuaria Quetzal cuenta con 3 generadores de 1 000 kilowatt y se encuentra en instalación un nuevo

motor de 2 000 kilowatt. En la tabla V, se muestran las características del equipo de emergencia el cual funciona con diésel, los motores están interconectados entre sí para abastecer la demanda de electricidad de la empresa en caso surja un imprevisto en el suministro eléctrico.

Tabla V. Características de la Planta de Emergencia

Marca de la planta generadora	Ottomotores
Fecha de manufactura	Noviembre del 2010
Modelo	CNY100
Peso	9845 Kg
Voltaje	480 VCA
Motor	CUMMINS
Modelo	QST30G4
Generador	Stamford
Modelo	HCI634J
Principal	909 kW 1136 kVA
Standby	1000kW 1250 kVA
Número de cilindros:	12 Cilindros en V
Diámetro / Carrera: en (mm)	5.51x6.50 (140X165)
Relación de compresión	14.0:1
Aspiración	Turboaspiración
Frecuencia:	60Hz
Velocidad del motor:	1800 rpm
Potencia bruta del motor: BHP (kWm)	1490(1112)
Velocidad del pistón: m / min (m/s)	1949 (9.9)
Consumo de combustible: l / h - 75% de carga	200
Temperatura de escape: °F (°C)	975 (525)

Fuente:

<http://www.inyen.com.mx/catalogos/CUMMINS/Modelo%20CNE1100%20y%20CNY1000.pdf>.

Consulta: 13 de mayo de 2014.

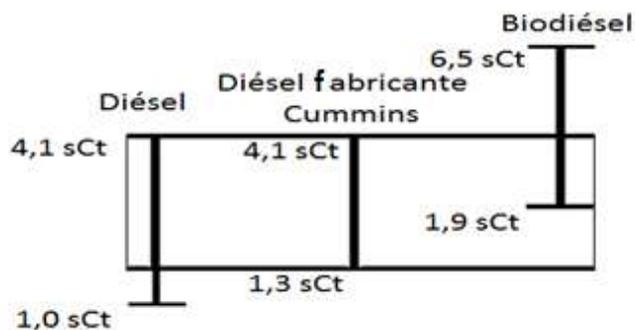
La Planta de Emergencia se encuentra instalada a un costado dentro del recinto portuario, el equipo es puesto en marcha una vez por semana a manera de conservar el óptimo funcionamiento; las instalaciones poseen un adecuado sistema de escape de humo, ventilación y aislamiento sonoro. Actualmente el mantenimiento es proporcionado por una empresa externa.

2.1.2. Relación mezcla para el motor diésel-biodiésel

Los datos del fabricante del motor indican que los motores a partir del 2008 del modelo utilizado por la Planta de Emergencia de la empresa están manufacturados para funcionar adecuadamente con una mezcla en el combustible de 20 % de biodiésel.

En la figura 18 se puede visualizar una comparación entre los rangos de la viscosidad cinemática a 40 °C que requiere el fabricante (1,3 centistokes a 4,1 centistokes) respecto de los rangos que posee el diésel y biodiésel según la normativa guatemalteca.

Figura 15. Rangos de la viscosidad cinemática a 40 °C del diésel, el diésel requerido por el fabricante y el biodiésel



Fuente: elaboración propia.

En la figura 16 se visualiza lo que se tendría, si se consideran, los anteriores rangos el caso más adverso para el estudio (rango mayor de viscosidad del biodiésel y rango mayor de viscosidad del diésel), y se utiliza la mezcla B20 como lo recomienda el fabricante.

Figura 16. **Relación diésel-biodiésel fijada por el fabricante**

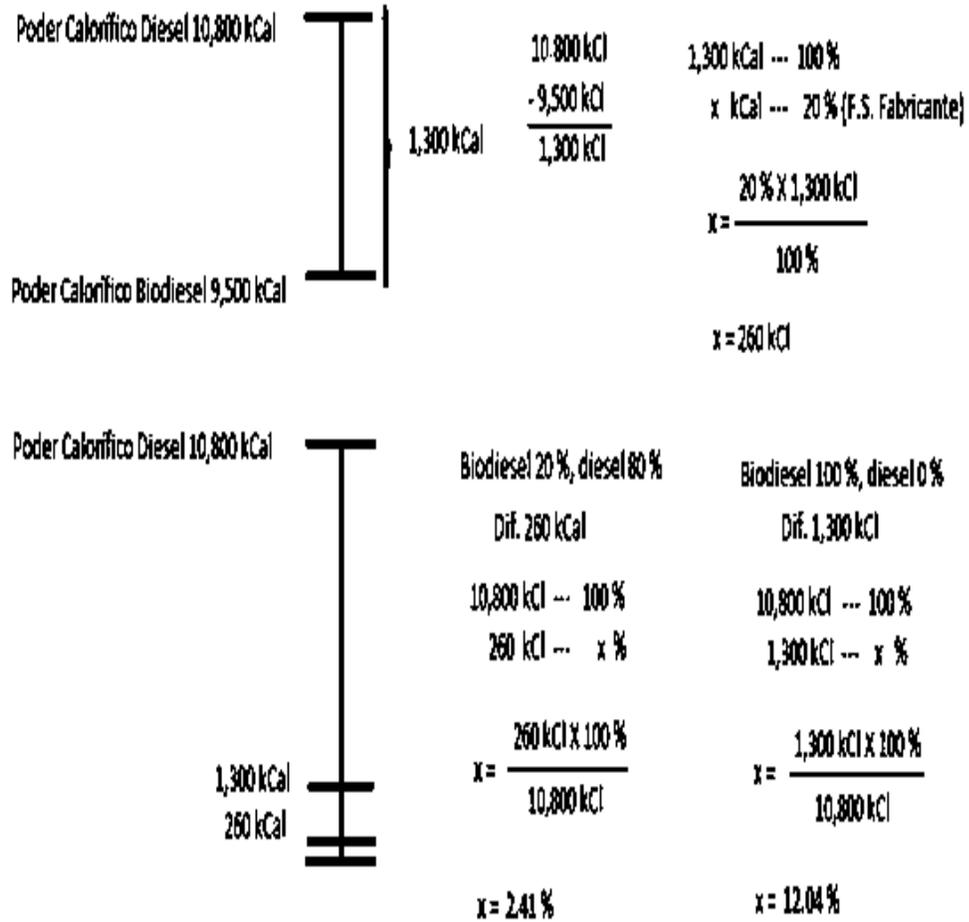
$$\begin{aligned} &\text{Viscosidad Diesel } 4.1 \text{ sCt} \\ &\text{Viscosidad Biodiesel } 6.5 \text{ sCt} \\ &\text{Mezcla: } 20 \% \text{ biodiesel} \\ &6.5 \text{ sCt} - 4.1 \text{ sCt} = 2.4 \text{ sCt} \\ &2.4 \text{ sCt} \text{ --- } 100 \% \\ &x \text{ ---- } 20 \% \\ &x = \frac{2.4 \text{ sCt} * 20\%}{100\%} \\ &x = 0.48 \text{ sCt} \end{aligned}$$

Fuente: elaboración propia.

Esta relación indica que con la mezcla de biodiésel-diésel fijada por el fabricante, no se incurren en problema con la obturación, dada la calidad de los inyectores, ya que solo se incrementaría la viscosidad cinemática del combustible en 0,48 sCt.

En figura 17 se visualiza gráficamente el efecto en la potencia del motor si se utiliza una mezcla B20 y un mezcla B100.

Figura 17. Efecto en la potencia del MCI para una mezcla B20 y una mezcla B100



Fuente: elaboración propia.

Las relaciones indican que la potencia no es uno de los factores que menguan la mezcla, si sucediera el caso de utilizar biodiésel es de 12,04 % y con la mezcla B20 es de 2,41 %. El análisis toma en cuenta la diferencia en las masas de los combustibles.

Con el rango de viscosidad que presenta el biodiésel se debe revisar la optimización de las bombas, se recurre a precalentadores de combustible, además se cambian las mangueras y materiales de caucho del sistema de alimentación, ya que el biodiésel tiene alta capacidad de degradarlos.

Al margen del fabricante, no se requerirá alguna alteración al motor y el funcionamiento será eficiente y prolongado.

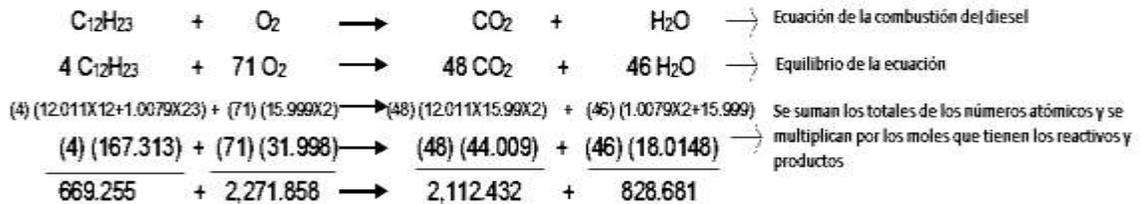
2.1.3. Generación de dióxido de carbono (CO₂)

El dióxido de carbono (CO₂), es un gas denso, sin color y no es muy reactivo, es uno de los gases más abundantes en la atmosfera, junto con: clorofluorocarbonos (CFC), vapor de agua (H₂O), óxido de nitroso (N₂O), ozono (O₃) y metano (CH₄), forman los gases del efecto invernadero, responsables de retener el calor de la tierra producido por el sol.

La concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre ha ido en aumento, de las 280 partículas por millón que conservaba en la época preindustrial, hasta superar el umbral de las 393,1 partículas por millón reportado en 2012, un aumento de 140,4 %. En los últimos 10 años se ha estado incrementando 2 partículas por millón por año, se estima que la concentración media mundial de CO₂ alcanzará el umbral de las 400 partículas por millón en 2015 o 2016.

La fórmula química media para el combustible diésel común es C₁₂H₂₃, (C₁₀H₂₀ a C₁₅H₂₈). Si se requiere determinar cuántos gramos de CO₂ se producen por la combustión de 1 000 gramos (1 kilogramo) de combustible diésel, se puede utilizar la ecuación química de la combustión para realizar el cálculo de la masa como lo describe la figura 18.

Figura 18. Ecuación química de la combustión del diésel y cálculo de la masa de CO₂ generado



Si queremos determinar cuantos gr de CO₂ hay en 1000 gr. de combustible diésel

Diesel (C ₁₂ H ₂₃)	669.255 gr.	-----	1,000 gr. (1 Kg.)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	2,112.432 gr.	-----	x gr.

$$x = \frac{2,112.432 \text{ gr} \times 1,000 \text{ g}}{669.255 \text{ g}}$$

$$x = 3,156.393 \text{ gr. de CO}_2$$

Si queremos determinar cuantos gr. de CO₂ hay en 1 lt. de combustible diésel.

Para calcular la masa de un litro de diésel $\rho = \frac{m}{V}$

$$\rho_{\text{diésel}} = \frac{832 \text{ gr.}}{\text{lt.}}$$

$$m = \rho \times V$$

$$m = 832 \frac{\text{gr.}}{\text{lt.}} \times 1 \text{ lt.}$$

$$m = 832 \text{ gr.}$$

Diesel (C ₁₂ H ₂₃)	669.255 gr.	-----	832 gr. (masa de 1 lt. de combustible diésel)
Dióxido de Carbono (CO ₂)	2,112.432 gr.	-----	x gr.

$$x = \frac{2,112.432 \text{ gr.} \times 832 \text{ gr.}}{669.255 \text{ gr.}}$$

$$x = 2,616.119 \text{ gr.} \times 1 \text{ lt. de combustible diésel}$$

Fuente: elaboración propia.

Sí se convierten las medidas obtenidas en gramos a kilogramos quedarían: 1 kilogramo de diésel es equivalente a 3,16 kilogramos de CO₂. Y 1 litro de combustible diésel es equivalente a 2,62 kilogramos de CO₂.

Según datos proporcionados por la Gerencia de Mantenimiento de la empresa Portuaria Quetzal en 2013 se atendieron 41 acontecimientos eléctricos con el equipo de emergencia, se contabilizó un total de 204 horas de generación, con un consumo de 22 182,51 litros de diésel.

Si se utiliza el factor de 2,62 kilogramos de CO₂ por litro, se tendría como resultado del uso de la Planta de Emergencia en 1 año una emisión de: 2,62 kilogramos de CO₂, por 22 182,51 litros de diésel sería equivalente a 58 118 kg de CO₂ al año.

2.1.4. Reducción de la polución por el uso de biodiésel

El biodiésel se puede obtener del cultivo de una variedad de plantas oleaginosas, aceite de cocina usado o bien de grasas animales, si bien el término biodiésel abarca cualquiera de estas fuentes, el aceite de las plantas oleaginosas es el que presenta más ventajas en cuanto a la obtención y el que mejor beneficia al ambiente.

La *Jatropha curcas* es conocida como piñón, es un cultivo oleaginoso y arbustivo, es nativa de México y Centroamérica. El rango de temperatura para su conservación varía entre los 18 °C y los 28,5 °C, la vida útil es de 45 años, es una planta que no es muy exigente con la fecundidad del suelo. La cantidad anual de agua mínima para la producción está entre los 500 milímetros y 600 milímetros.

En la tabla VI, se observan los diferentes rendimientos en litros sobre hectárea que se obtienen al cultivar plantas oleaginosas con el fin de producir biodiésel, según la revista Bolivariana (son datos de estudios generalizados y no se tiene la cuenta de la densidad de la plantación).

Tabla VI. Rendimiento de cultivos para la producción de aceite

especie	producción de aceite {l/Ha}
Soja (<i>Glycine max</i>)	420-580
Girasol (<i>Helianthus annuus</i>)	890
Colza (<i>Brassica napus</i>)	1100
Palma (<i>Elaeis guineensis</i>)	3500-5550
Jatropha/piñon (<i>Jatropha curcas</i>)	1590-3500
Ricino/tartago (<i>Ricinus communis</i>)	1200-1700
Tung (<i>Aleurites fordii</i>)	880
Maní (<i>Arachis hypogaea</i>)	990
Aguacate, palta (<i>Persea americana</i>)	2460
Coco (<i>Cocos nucifera</i>)	2510
Cocotero (<i>Acrocomia aculeata</i>)	4200

Fuente: http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S1995-10782008000100008&script=sci_arttext. Consulta: 17 de mayo de 2,014.

Se observa en la tabla que la planta de mejor rendimiento es la palma aceitera, sin embargo, el aceite es comúnmente utilizado para alimentación. La *Jatropha curcas* es una planta que no compite con otras en cuanto a que los productos no son comestibles y el cultivo no implica deforestación, lo cual es conveniente para el objetivo que se busca en el proyecto.

Lo que se recolecta de la planta *Jatropha curcas* es el fruto, regularmente posee tres semillas dentro de las cuales se encuentra el aceite (28 % - 39 %). Es una planta tóxica, por ello el uso ha sido destinado a la producción de jabones, medicinas, lubricantes, insecticidas.

En un artículo publicado por *The New York Times International Weekly* en enero del 2014, se mencionó acerca de la domesticación genética que la pequeña empresa SGB está realizando con la *Jatropha curcas*; se mencionó que gran parte del trabajo biológico ya estaba hecho y que la *Jatropha 2.0*, como le llaman ellos, puede llegar a ser competitiva con el precio del barril del petróleo \$99,00 (enero de 2014). Se contó 37 frutos en un racimo de una planta de *Jatropha 2.0* en contraste con los típicos 7 u 8 frutos por racimo de una planta normal, adujeron; y se menciona que hay ejemplos en Guatemala en donde se tienen 60 frutos en un racimo. El estudio se centra en modificar genéticamente las plantas más productivas y diversas para cruzarlas y obtener datos a nivel molecular en contraste con los antiguos procedimientos en donde cruzaban 2 cepas y esperaban que florecieran para ver si el híbrido resultaba viable. Tienen acuerdos para sembrar más de 100 000 hectáreas en Brasil, India y otros países y se prevé que producirán 265 millones de litros de combustible al año, aproximadamente un rendimiento de 2 650 litros por hectárea (en 2013 se consumieron en Guatemala alrededor de los 1 168,5 millones de litros de diésel. Ministerio de Energía y Minas).

La empresa Biocombustibles de Guatemala en una ponencia realizada en 2008 recalco que el desarrollo de un sistema de riego en los cultivos puede aumentar a un 58,33 % el aceite de las semillas.

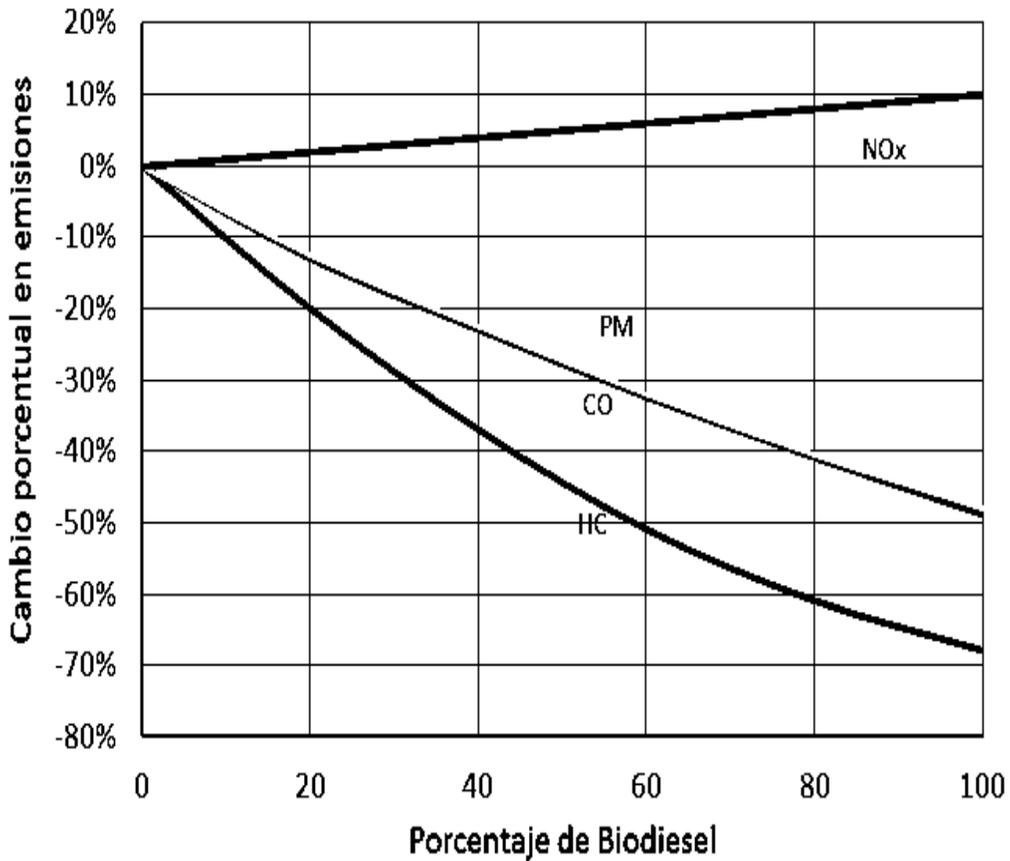
El rendimiento por hectárea que la empresa Biocombustibles de Guatemala contabilizó es de 3 297,86 litros de aceite por hectárea, utilizando un adecuado sistema de riego. Para convertir 1 litro de aceite se necesitan 200 mililitros de etanol y 3,4 gramos de soda caustica; se pierde una media del 6 % del aceite durante la conformación del biocombustible; con lo cual, queda un rendimiento de 3 099,99 litros de biodiésel por hectárea; en una producción que utiliza el máximo de recursos y cosechada en tierras semidesérticas. La empresa utiliza

una distancia de 4 metros entre surcos y 1 metro entre plantas para hacer un total de 2 500 plantas por hectárea.

La planta de emergencia de la empresa Portuaria Quetzal utilizó en 2013 un total de 5 860 galones de diésel, con base en el análisis, la mezcla ideal para trabajar con biocombustibles en los motores es de 80 % diésel y 20 % biodiésel; aproximadamente se requerirán de 4 436,50 litros de biodiésel para realizar la mezcla, según el rendimiento de la empresa Biocombustibles de Guatemala, en un cultivo con adecuados sistemas de calidad se producen 3 099.99 litros por hectárea, lo que significa que se necesitan 1,43 hectáreas, un total de 3 575 plantas de *Jatropha curcas*.

Una planta de *Jatropha curcas* recolecta 6 kilogramos de CO₂ al año en promedio de su ciclo de producción, con las 3 575 plantas se recolectaría la cantidad de 21 450 kg de CO₂ al año; comparándola con la emisión emitida por los motores de la Planta de Emergencia de la empresa en 2013 (58 118 kg de CO₂) equivaldrá a una disminución del 36,91 % de emisiones de CO₂ a la atmósfera, si se utiliza la mezcla de B20 (con B20 se reducirían en 20 % la emisiones de azufre ya que el biodiésel no poseen azufre, el azufre que contiene el diésel tiene como máximo 0,10 % del total de su masa. En la comparación que se realizó para determinar la disminución de CO₂ con la mezcla B20 se sostuvo que el 20 % de biodiésel al quemarse produce la misma cantidad de CO₂ que el diésel). En la figura 19 se pueden observar los porcentajes promedios de emisiones contaminantes que se producen por la combustión para diferentes mezclas de biodiésel-diésel.

Figura 19. **Generación promedio de emisiones por el uso de biodiésel en motores de uso pesado**



Fuente: <http://www.afdc.energy.gov/vehicles/images/biodiesel-emissions-graph.jpg>.

Consulta: 10 de junio de 2014.

2.2. Rediseño del depósito de combustible

Es importante para la eficacia de la Planta de Emergencia un rediseño del depósito de combustible; este se encuentra en condiciones que no colaboran con esta disposición. El proyecto, en el ámbito mecánico, busca optimizar la relación aire-combustible, el sistema de combustible de los motores incluye el depósito de

combustible cuya condición actual no repercute en el funcionamiento del motor, más sin embargo, la condición no es eficaz.

El proyecto trata de mantener una planta de emergencia óptima en todos los aspectos, para luego introducir biocombustibles al sistema, con el fin de mejorar la calidad del ambiente y de paso, se reconozca la iniciativa de la empresa en este aspecto específico.

2.2.1. Condiciones actuales del depósito de combustible

El depósito de combustible es de tipo aéreo. El diseño actual no contempla una distancia entre la boquilla de salida del depósito de combustible y las boquillas de las bombas de combustible de los motores, que permita la libre fluidez de todo el combustible del depósito, la diferencia de elevaciones es de 16 centímetros.

El tanque mantiene una cantidad constante de combustible que no puede ser utilizada, lo que reduce considerablemente la capacidad nominal del depósito de combustible y se tiene la molestia de asumir siempre como nivel 0 los 550 galones que permanecen constantes, lo cual genera inconvenientes al personal encargado. Además, el tubo de plástico que funciona como visor se encuentra demasiado opaco y no permite visualizar con facilidad el nivel de combustible, todo esto crea confusión en los operadores al momento de la lectura, aspecto que se desea evitar. La figura 20 muestra una perspectiva del depósito de combustible como luce en la actualidad.

Figura 20. **Depósito de combustible E.P.Q.**



Fuente: empresa Portuaria Quetzal.

2.2.2. Análisis técnico

Antes de iniciar la labor del rediseño del depósito se debe tener una coordinación previa con la Gerencia de Ingeniería, para efectuar el retiro del combustible del depósito y evitar incidentes con los gases inflamables que puedan quedar si no se toma el tiempo prudencial de un día como mínimo. Se han de realizar las conexiones necesarias para abastecer los motores de combustible, en caso sean requeridos durante el proceso de reconstrucción, a través de un depósito externo auxiliar como el que se muestra en la figura 21.

Figura 21. **Llenado del depósito de combustible mediante un depósito auxiliar**



Fuente. Gerencia de Mantenimiento. empresa Portuaria Quetzal.

Tanto el cilindro como el armazón tienen una galga de 8 milímetros; la masa del cilindro de acero A-36 usado para estructuras de gran resistencia, es de 96 093,42 kilogramos, la del armazón es de 12 019,92 kilogramos (altura media a lo largo 18 centímetros, alto 43 centímetros), ($\gamma_{\text{acero A-36}} = 7\,850$ kilogramos dividido metros cúbicos), y la masa del combustible es de 12 597,85 kilogramos, ($\gamma_{\text{diésel}} = 832$ kilogramos dividido metros cúbicos); en total suman 120 711,19 kilogramos; la fuerza que ejerce la estructura hacia abajo queda en total 1,18 Meganewton; el área total en el cual se apoya es de 0,69 metros cuadrados; por lo que el esfuerzo es de 1,71 Megapascal; y la resistencia del hormigón es alrededor de 25 Megapascuales, lo cual indica que la estructura de hormigón puede resistir 14 veces más el peso de toda la estructura de acero y combustible.

Lo más práctico para realizar el ajuste de altura del depósito es adherir una nueva estructura de metal a la base actual. El área del acero que se desea adherir es de 0,05 metro cuadrado y la fuerza que ejerce la estructura es de 1,71 Megapascal lo que resulta en un esfuerzo de 34,2 Megapascales y el esfuerzo de fluencia del acero utilizado en esta estructura, es de 250 Megapascal de lo que se deduce que el nuevo metal a agregar soportará perfectamente la estructura de metal.

La soldabilidad de los aceros varia con el contenido de carbono, entre menos sea este más será la soldabilidad. El acero ASTM A-36 cuenta con 0,26 % de carbono, 0,75 % de manganeso, 0,2 % de cobre, 0,04 % de fósforo y 0,05 % de azufre. Hay varias maneras de evaluar la soldabilidad del acero, siendo la más práctica la fórmula de Carbono Equivalente del International Institute of Welding (IIW).

$$CE = C + \frac{Mn + Si}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}$$

El carbono equivalente del acero A-36 es de 0,39 % y según el diagrama de Graville (es utilizado para medir la soldabilidad de los aceros, el cual es una herramienta útil para evaluar la necesidad de precalentamiento o tratamiento térmico postsoldadura basada en conceptos de composición química (no considera espesor), en el mismo se grafica la relación entre carbono y el carbono equivalente del metal base y considera 3 zonas), se encuentra ubicado en la zona II, que corresponde a aceros con alto contenidos de carbono y bajos elementos de aleación, y un variado rango de durezas; esto hace necesario considerar la disminución de la velocidad de enfriamiento de la ZAC (región del metal base adyacente a la línea de fusión cuyo tamaño dependerá del aporte

térmico de la soldadura), a través de un control en el aporte térmico y empleo de precalentamiento.

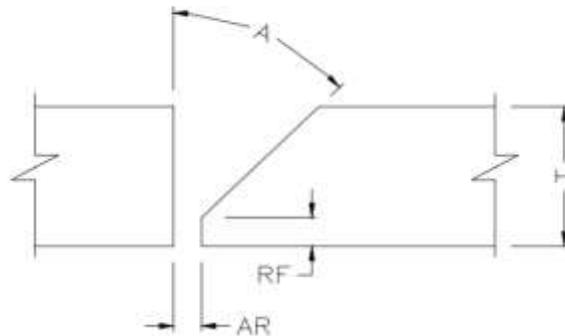
El precalentamiento del metal base se evitará utilizando moderadas velocidades de avance, se utilizarán varias pasadas para realizar las uniones, asimismo, se manejarán altas intensidades de corriente.

La fórmula para el área transversal de la soldadura queda de la siguiente manera:

$$\text{Área transversal} = \frac{1}{2}(T-RF)^2 \tan A + AR \cdot T$$

Como se representa en la figura 22:

Figura 22. **Diseño del área transversal en la unión de la soldadura**



Fuente: http://pirhua.udel.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1261/IME_032.pdf?sequence=1.

Consulta: 2 de julio de 2014.

Para lo cual se tiene (ver figura 22):

$$A = 45^\circ$$

$$RF = 0,2 \text{ centímetro}$$

$$AR = 0,2 \text{ centímetro}$$

$$T = 0,8 \text{ centímetro}$$

Introduciendo los valores a la formula se tiene un área de 0,34 centímetros cuadrados; y el total de la longitud de la soldadura es de: 1 090 centímetros. [base] + 176 centímetros [instrumentos de sujeción] (ver figura 23) + 48 centímetros [escalera] = 1 314 centímetros; con lo cual se tiene un volumen de 464,76 centímetros cúbicos.

La fórmula utilizada para calcular el consumo de electrodos es la siguiente:

$$P = \frac{S}{1 - L}$$

En donde:

P = peso de los electrodos

S= peso del acero del electrodo

L = pérdidas totales del electrodo

Y se tiene que:

ρ = del acero de soldadura 0,00785 kilogramo dividido centímetro cúbico

Área transversal = 0,34 centímetros cuadrados

Longitud de la soldadura = 1 314 centímetros

L = dado que la técnica a utilizar es la de electrodo por arco revestido (SMAW) cuya eficiencia es de 55 %, por lo que queda un 45 % de pérdidas.

$$P = \frac{(0,34 \text{ cm}^2 * 1\,314 \text{ cm})(0,00785 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3})}{1 - 0,45}$$

$$P = 6.37 \text{ kg de electrodos}$$

Las tablas de Construmática indican que el diámetro del electrodo para la plancha de 8 milímetros es de 4 milímetros de diámetro; el catálogo de consumibles Lincoln® Electric dice que la cantidad aproximada de electrodos según el peso dado es de 61 electrodos E 7018.

2.2.3. Recursos

La empresa Portuaria Quetzal cuenta con personal capacitado para realizar esta actividad, el personal profesional y técnico es capacitado; en cuanto a los recursos no se presentan inconvenientes, ya que la empresa cuenta con el equipo y los materiales necesarios o bien se pueden gestionar los materiales mediante solicitudes de compra.

2.2.3.1. Recursos humanos

- 1 piloto de montacargas
- 1 ayudante de montacargas
- 4 técnicos en soldadura
- 4 técnicos en albañilería
- 1 ingeniero mecánico
- 1 ingeniero encargado del proyecto

2.2.3.2. Recursos materiales

- montacargas de 10 toneladas
- 2 máquinas soldadoras de arco eléctrico (intensidad 250 amperios.)
- 61 electrodos E 7018
- 2 sierras de metal
- 2 arcos para cierras de metal
- 2 niples de acero de 1 pulgada de diámetro
- 2 tubos de acero de 1 pulgada de 16 centímetros de longitud + rosca
- 12 tablillas de acero A-36 de 24,5 centímetros de largo por 6 centímetros de alto por 0,5 centímetros de espesor.
- 6 láminas de acero A-36 de 16 centímetros de alto por 139 centímetros de largo por 0,8 centímetros de espesor.
- 6 láminas de acero A-36 de 16 centímetros de alto por 16 centímetros de largo por 0,8 centímetros de espesor.
- 4 llaves de 1 pulgada
- 2 desatornilladores lisos
- 4 gatos hidráulicos
- 1 manguera de 1 pulgada de 184 centímetros de longitud
- 2 tubos de acero de ½ pulgada de diámetro y 165 centímetros de longitud
- 1 tubo de acero de ½ pulgada de diámetro por 63 centímetros de longitud
- 2 tubos de acero de ½ pulgada de diámetro de 13 centímetros de longitud
- 10 metros
- 4 niveles

2.2.4. Metodología

Se desanclan los 24 pernos que sujetan la estructura metálica, a los cimientos, desprender los 4 cables que funcionan como tierras físicas.

Desinstalar las tuberías de retorno y suministro de combustible. Ajustar el depósito al montacargas y desplazar hacia atrás 2 metros.

En la intersección perpendicular a la estructura cortar las planchas que sujetan la estructura al concreto. En la figura 23 se puede ver el mecanismo de sujeción de la estructura metálica al concreto.

Figura 23. **Mecanismo de sujeción entre metal y concreto del depósito de combustible**



Fuente: empresa Portuaria Quetzal.

Pulir uno de los extremos de las láminas a soldar a manera de formar un ángulo a 45° como el que se muestra en la figura 22, colocar con la ayuda de gatos hidráulicos, niveles y los operarios las láminas de metal a soldar, ajustar mediante prensas, verificar la rectitud, colocar unos puntos de soldadura para facilitar la sujeción y proceder a soldar una por una a una velocidad lenta y no de una sola pasada.

Una vez soldado todo el nuevo armazón. Soldar las planchitas de metal al mecanismo de sujeción cortado inicialmente, formando un ángulo de 90°, a manera de quedar nuevamente como se muestran en la figura 26; luego soldar al nuevo armazón recién conformado, en todo el contorno.

Bien, todo esto se realiza con la estructura en la misma posición luego de removida. Finalmente proceder a colar la mencionada estructura justamente sobre las bases del cimiento. Ajustar los pernos, que se desanclaron inicialmente, a la estructura recién conformada. Conectar los 4 cables de tierra física a la estructura. Desatornillar las abrazaderas que sujetan la manguera que funciona de visor, retirar y colocar la nueva manguera y ajustar nuevamente las abrazaderas.

Adherir mediante los 2 niples de 1 pulgada de diámetro los 2 tubos de 1 pulgada de diámetro y 16 centímetros de alto a las tuberías tanto de suministro, como de retorno del combustible a manera ajustarlos a la nueva altura del depósito.

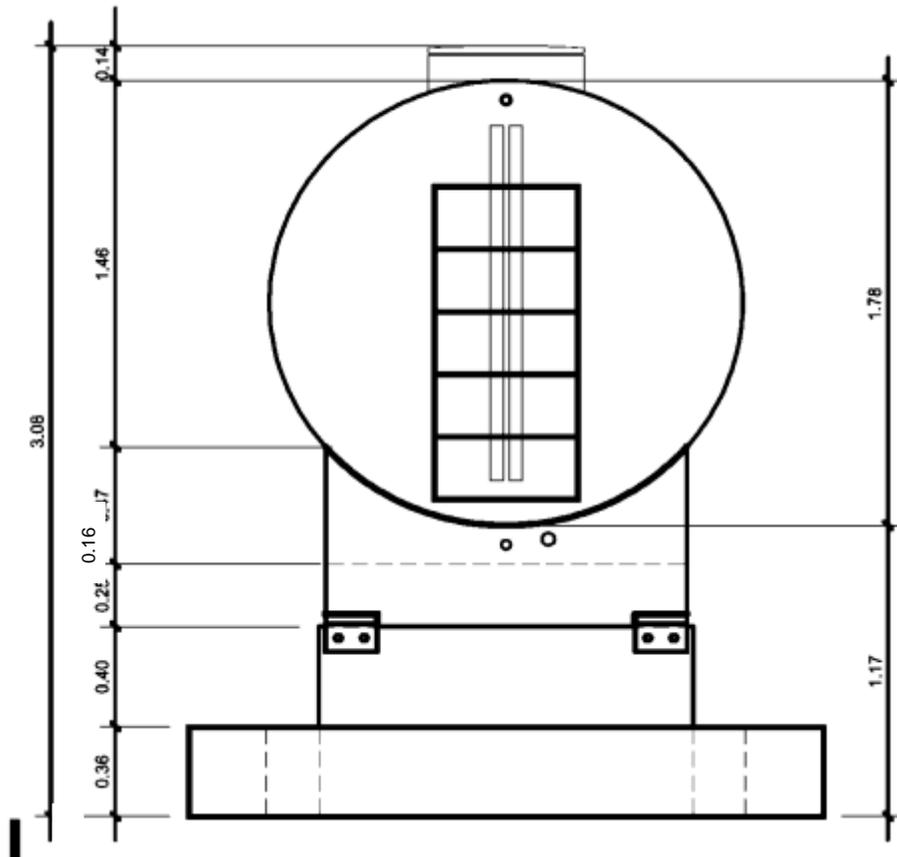
Soldar los dos tubos de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro y 16 centímetros de longitud verticalmente en el extremo inferior de la escalera y luego soldar en las puntas el otro tubo de acero del mismo diámetro y 63 centímetros de longitud, a manera de conformar una escalera. Proceder a soldar en las dos equinas inferiores de la nueva escalera 2 tubos de $\frac{3}{4}$ pulgadas de diámetro y 13 centímetros de longitud a la nueva base de la estructura, a manera de reforzar la escalera.

2.2.5. Nuevo diseño del depósito de combustible

Bajo este título se presentan las vistas de elevación lateral y elevación frontal del nuevo diseño del depósito de combustible como se observa en la

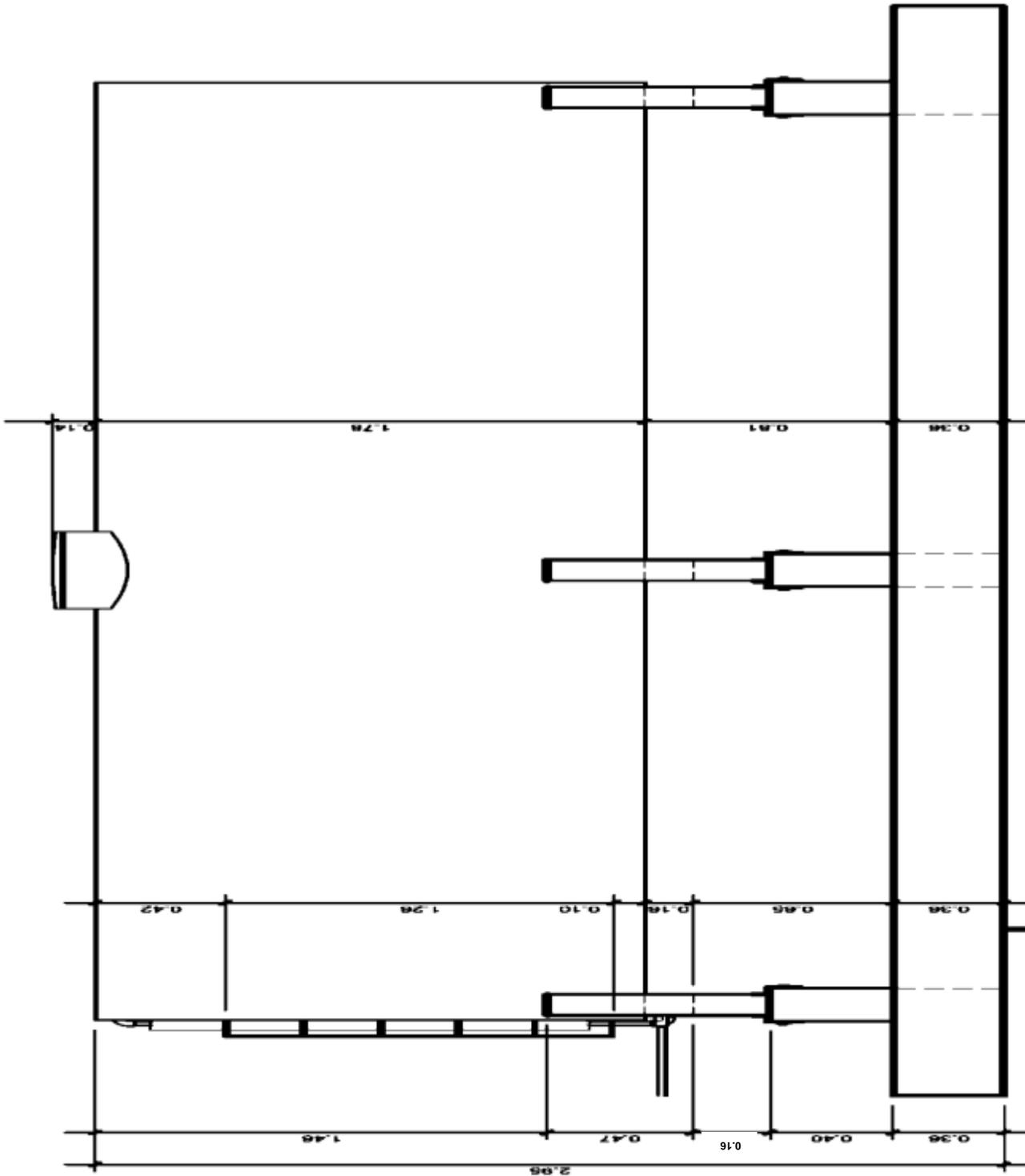
figura 24 y la figura 25, respectivamente, una vez realizadas las modificaciones. La unidad de medida es el centímetro del sistema internacional.

Figura 24. **Elevación lateral**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Figura 25. Elevación frontal



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

3. FASE DE DOCENCIA

3.1. Mantenimiento

El mantenimiento busca conservar en condiciones óptimas toda la maquinaria, equipo, edificaciones, etc. los métodos o sistemas pueden ser variados pero, en general, se busca adaptar a las necesidades del usuario por ejemplo: si se desea reparar las fallas al momento en que ocurran se utiliza el mantenimiento correctivo; si se desea mantener el equipo óptimo para determinado período de tiempo se utiliza el mantenimiento preventivo; si se desea mejorar la gestión de riesgos se utiliza el mantenimiento proactivo, etc.

El tipo de mantenimiento idóneo para este proyecto es tal, que permita mantener en condiciones estupendas el motor en cualquier momento, dado que la Planta de Emergencia reacciona ante fallos en el suministro de electricidad; el mantenimiento predictivo es el que mejor se adapta a esta necesidad, se efectúa en función del tiempo, toma como referencia el número de horas de funcionamiento del equipo; básicamente realiza pruebas de funcionamiento, se cambian componentes susceptibles de fallo y se miden especificaciones y el tiempo de los componentes.

3.1.1. Mantenimiento diario

El mantenimiento diario involucra la revisión de las medidas y presiones de aceite y refrigerante, fugas de aceite, refrigerante, bandas flojas y elementos en malas condiciones, previo a encender el motor. Se verifican las condiciones de las lámparas de fallo y si hay cables sin conexión. El operador debe dejar

constancia de estos datos para los ajustes necesarios a esta rutina. Asimismo, se debe dejar información sobre aspectos inapropiados como baja potencia en el sistema, humo excesivo, demasiado uso de los líquidos, ruidos inusuales.

Antes de arrancar el motor se tiene que drenar el separador de agua-combustible. Se verifica que el nivel de líquido refrigerante esté hasta el cuello del tubo de llenado, se corrige si fuera el caso; el cedazo de agua debe limpiarse o reemplazarse si es necesario. El prefiltro de aire requiere revisión diaria, con aire a presión es suficiente para limpiarlo.

3.1.2. Mantenimiento semanal

Todas las operaciones del mantenimiento semanal se realizan independientemente de los otros mantenimientos.

Un instrumento mecánico permite indicar la restricción del flujo de aire, dicho instrumento posee una banda que se eleva gradualmente con el incremento de la suciedad. Se requiere cambiar el cartucho así como el indicador de vacío, el cual es un instrumento que se instala en la entrada de aire al turbocargador.

El filtro de aire se necesita reemplazar si la potencia de entrada supera las 25 pulgadas de agua, si no, solo limpiar con aire a presión. Para limpiarlo hay que quitar las tuercas de mariposa, remover el panel del prefiltro; retirar el cartucho sucio aflojando las cuatro esquinas y limpiar los orificios del prefiltro de todo polvo, hollín, aceite, etc. Revisar que la carcasa del filtro de aire se encuentre en perfectas condiciones, limpiar el depósito y el protector; remover la mariposa que sostiene el filtro de aire y el filtro de aire, si es necesario el removerlo por la alta restricción de la admisión reemplazar e instalar un nuevo

filtro, luego acoplar la tuerca de mariposa y revisar los empaques. Hay que garantizar que el cartucho permanezca limpio, que no contenga neblinas de aceite debido a fugas, que de hecho es imprescindible ubicarlas para la corrección inmediata. Inspeccionar que se halla sellado herméticamente el filtro.

Si es necesario cambiar el filtro, verificar que asiente adecuadamente dentro de la carcasa, no debe empujarse con excesiva fuerza; de cualquier manera colocar el panel del prefiltro y ajustar a mano las tuercas de mariposa.

- Tubería de admisión de aire

La tubería no debe estar agrietada, ni con abrazaderas desajustadas, perforaciones, etc, no debe haber corrosión en las piezas del sistema de admisión de aire; desensamblar y limpiar como se requiera. Según sea el caso apretar o cambiar las piezas.

- Tanque y depósitos de aire

Estos depósitos acumulan la humedad que contiene el aire por lo que es ineludible drenarlos semanalmente.

3.1.3. Mantenimiento a las 250 horas o 6 meses

Este mantenimiento se ejecuta independientemente de los mantenimientos de menor duración y se ejecuta a las 250 horas de uso o a los 6 meses, lo que ocurra primero.

- Filtro de combustible

En este apartado concierne el mantenimiento del prefiltro de combustible, este consta de un cedazo el cual se debe verificar diariamente por los casos en que haya acumulado algún residuo o agua, reemplazar cada 250 horas o 6 meses, lo que ocurra primero.

El filtro de combustible se reemplaza cada 250 horas o 6 meses; limpiar el área alrededor del cabezal del filtro con una toalla sin pelusa; para instalar aplicar una ligera película de aceite en la junta del filtro, seguidamente instalar el filtro; apretar el filtro como lo especifica el fabricante, cebar de modo manual el cabezal del filtro de combustible.

- Aceite lubricante y filtros

En la parte inferior del cárter se encuentra el tapón que permite drenar el aceite, no remover los demás tapones si solamente se desea drenar. El motor utiliza 4 filtros de aceite, 2 de flujo plenos y 2 de derivación, la diferencia entre ambos radican: los primeros todo el aceite utilizado pasa por el filtro y en los otros no; los filtros de flujo pleno requieren de 2,6 litros mientras que los de derivación requieren de 2,3 litros.

Para el desmontaje utilizar llaves para filtros de aceite, limpiar el área alrededor de la junta de cabezal del filtro, llenar los filtros con aceite 15W-40, instalar y apretar con la misma llave especial; colocar el tapón de drenado de aceite nuevamente con un torque de 47 Newton por metro. Operar el motor con velocidad ralentí para localizar fugas en el motor, luego apagar, esperar 5 minutos y revisar los niveles de aceite, pueda que se requiera un poco más.

- Tubo del respirador del cárter

Retirar el tubo y revisar cada 250 horas o 6 meses, si está obstruido limpiar o reemplazar, es vital para mantener la presión normal en el cárter de aceite.

- Filtro del refrigerante y aditivo del refrigerante

Determinar que el filtro correcto mantenga la concentración justa del aditivo del refrigerante, para evitar corrosión en el sistema. Para el cambio del filtro cerrar la válvula en el cabezal del filtro para evitar que escape agua, luego quitar los filtros cuidadosamente y limpiar el área periférica al cabezal del filtro, lubricar el sello del nuevo filtro con aceite limpio, instalar y girar hasta que el cabezal del filtro toque el sello. El aditivo refrigerante se debe cambiar.

- Bandas impulsoras

Una inspección visual cada 250 horas o 6 meses requieren las bandas; cambiar si se encuentran rasgadas o agrietadas, bandas muy brillantes demuestran demasiado deslizamiento, ya que las bandas tensionadas correctamente muestran desgaste uniforme. Conocer las tensiones adecuadas conforme el tamaño SAE de la banda es fundamental para determinar si concuerdan con las especificaciones de los fabricantes.

- Ventilador de enfriamiento

El ventilador requiere de mantenimiento cada 250 horas o 6 meses; cambiar en caso de que este dañado, o bien apretar los tornillos, confirmar el estado de los remaches, que las aspas no estén dobladas y revisar la tensión de la banda.

3.1.4. Mantenimiento a las 2 000 horas o 1 año

Los mantenimientos anteriores han de seguir efectuando sin variar la frecuencia. Antes de efectuar el mantenimiento en este período es preciso limpiar el motor con vapor; tomar en cuenta que los componentes eléctricos no estén mojados.

- Mangueras del motor

Cada año inspeccionar que las mangueras del motor (filtro de aceite y sistema de enfriamiento) mantengan buenas condiciones, ya que los desechos pueden obstruir los sistemas de enfriamiento y aceite. Una inspección de las mangueras de agua es fundamental para verificar que no estén acumulando escamas o desechos.

- Baterías

Normalmente las baterías están exentas a mantenimiento, pero es necesario revisar el nivel de carga a través del probador de baterías para verificar la condición, hay que cambiarlas si no cumple con el nivel adecuado según el fabricante.

- Soportes del motor

Comprobar si los tornillos que sostienen al motor conservan el torque adecuado, apretar, cambiar o colocar si hacen falta de acuerdo a lo requerido y/o necesario.

- Cigüeñal

Debe medir la tolerancia axial del cigüeñal utilizando un indicador, el indicador debe encontrarse ensamblado. Las tolerancias permisibles deben permanecer entre 0,14 milímetros y 0,32 milímetros.

- Ajuste del tren de válvulas e inyectores

Una vez al año es suficiente efectuar el ajuste al tren de válvulas. Se necesitan dos vueltas del cigüeñal para ajustar todas las válvulas, el giro es en sentido de manecillas del reloj y realizar mediante un dispositivo de giro. Las válvulas pueden ajustar media vez encajen en la marca indicadora.

Requiere remover las cubiertas de los balancines y las piezas complementarias. El orden de encendido para el motor es el siguiente: 1R - 1L - 5R - 5L - 3R - 3L - 6R - 6L - 2R - 2L - 4R - 4L.

Una vez ajustado el tren de válvulas revisar que la contratuerca tenga cerca de tres hilos, en caso contrario revisar los ajustes, tuercas no estándar; luego, apretar cada junta y las cubiertas de balancines, aplicar un torque de 5 Newton por metro.

- Calentador de aceite de motor y del refrigerante

Si las condiciones del calentador de aceite son óptimas el cárter de aceite tendrá que estar caliente; revisar por cables dañados, fugas de aceite, conexiones flojas, cambiar en caso de ser necesario.

Revisar los conductos que llevan refrigerante al block del motor, las juntas, el tubo de acero, las mangueras deben ser de silicona y soportar una presión mínima de 689 Kilopascales.

- Brazo pivote y banda impulsora del ventilador

Lubricar el brazo hasta resbalar el lubricante por la tapa; la tensión de la banda del ventilador tiene que tener aproximadamente 600 libras.

3.1.5. Mantenimiento a las 6 000 horas o 2 años

Se han de continuar con los mantenimientos previos a este período, en adición, a los procedimientos de mantenimiento descritos a continuación.

- Sistema de enfriamiento

Reemplazar el anticongelante y el refrigerante, sin quitar el filtro de refrigerante, utilizar un limpiador de servicio pesado para remover impurezas, depósitos, químicos en el sistema. Llenar el depósito con los ingredientes, agua, anticongelante, líquido de enfriamiento. Poner en marcha el motor en modo ralenti durante 5 minutos, revisar fugas; luego drenar el sistema para verificar si sale este sucio, repetir este procedimiento nuevamente a manera de limpiar el sistema de enfriamiento.

- Carcasa y termostato del refrigerante

Para realizar este procedimiento se tiene que drenar el refrigerante del sistema de refrigeración del motor. Ejecutado el mantenimiento se llena nuevamente y revisar las fugas.

Entre el block del motor y la carcasa del termostato hay 12 tornillos removerlos para desmontarlos, desechar la junta de la carcasa del termostato, inspeccionar por alguna imperfección, corregir si es necesario; remover los termostatos y los sellos, limpiar las juntas, revisar si tienen algún rozamiento o desgaste, cambiar si esto es positivo; instalar los termostatos empujando el extremo superior y proceder a instalar la carcasa. Los sellos deben instalarse con el borde del sello hacia arriba, ejercer presión con un mazo para ajustar.

- Cubo de ventilador

Inspeccionar el cubo del ventilador para verificar las tolerancias y fugas de grasa, se debe maquinar para cerciorarse de las condiciones de los cojinetes, aberturas en la polea.

- Conjunto de polea loca del mando de ventilador

Es necesario verificar el montaje de la polea, reemplazar de no poder corregir cualquier desperfecto. Retirar la banda del ventilador, los tornillos y acoplar a la polea. Verificar que se encuentre presionado el resorte en el brazo loco del cubo del ventilador.

- Bomba de agua

Cambiar o reparar la bomba de agua cada 6 000 horas o 2 años, lo que se presente primero.

- Turbocargador

Desensamblar, revisar por aspas dañadas o en mal estado, cambiar por completo de no encontrar solución viable; la tolerancia axial debe permanecer entre el rango de 0,050 milímetros y 0,130 milímetro y la tolerancia radial del cojinete debe mantener el rango de los 0,15 milímetro y 0,45 milímetro, la rueda debe tener una tolerancia entre los 0,20 milímetros y 0,55 milímetros.

- Amortiguador de vibración

Los amortiguadores, tiene una vida útil de 24 000 horas, sin embargo, deben revisarse cada 6 000 horas o 2 años. Para componerlos requerir de: limpiarlos con solvente, inspeccionar por grietas y protuberancias, reemplazar si están en muy mal estado. Inspeccionar por fugas. Realizar la prueba de introducir el amortiguador en un horno por dos horas a una temperatura de 93 °C y revisar.

- Carbón en el compresor de aire

Naturalmente el compresor almacena residuos carbonosos dado que utiliza aceite que arrastra para lubricar los componentes, lo cual hace que requiera mantenimiento cada 6 000 horas o 2 años.

Drenar el tanque, retirar la línea de descarga del aire del compresor, medir el espesor del depósito de carbón, el cual no debe de superar los 2 milímetros. Si es necesario reemplazar la cabeza del cilindro. Cerciorar, además, que las válvulas de alivio e inyectores de alcohol, secador de aire y válvulas aspersoras no contengan depósitos y verificar el correcto desempeño.

- Conjunto de descargador y válvula del compresor de aire

Desensamblar la línea principal de descarga del compresor, retirar la válvula de descarga y cambiar los sellos; explorar la presencia de carbón, limpiar en caso positivo, inspeccionar por grietas. Asear la válvula de descarga con un cepillo metálico. Instalar la válvula, lubricar el nuevo sello y ajustar el tornillo de sujeción, instalar nuevamente la línea de descarga.

3.1.6. Otros mantenimientos

Existen otros componentes los cuales necesitan mantenimientos que se realicen según la planificación previa y no necesariamente siguen un patrón cíclico, estos se ajustan a las necesidades del equipo, pero siempre llevando un control estricto que garantice el funcionamiento en cualquier momento.

- Depósito de combustible

El personal encargado debe tomar las precauciones debidas para resguardar su seguridad ya que dentro del depósito se almacenan gases perjudiciales a la salud.

En el interior del depósito se hayan pozos, suciedad, residuos, de la misma combustión y oxidación del combustible, para lo cual se necesita purgar el tanque de combustible, dejar un tiempo prudencial para que se ventile el interior del tanque y no provoque daños a la salud del encargado; limpiar los lodos y las paredes mediante agua a presión y disolventes, revisar que no existan fugas ni poros en el interior del depósito de combustible, el agua utilizada en el proceso se debe almacenar y desechar considerando una correcta gestión ambiental.

- Generador síncrono

Para el mantenimiento del generador, propiciar mantenimientos rutinarios; revisar el estado de los devanados; utilizar un amperímetro para determinar la corriente de fase, medir la resistencia de aislamiento a tierra la cual debe ser superior a 1 megaohmio.

Los cojinetes no deben emanar ruidos excesivos, revisar por desgaste en cuando ocurran vibraciones irregulares, en estos casos inspeccionar por desajustes o falta de grasa. Los cojinetes independientemente del estado cambiar a las 40 000 horas de funcionamiento.

Hay que desmontar y limpiar los filtros con bastante agua, utilizando disolventes para luego dejarlos secar e instalar nuevamente.

El voltaje residual se obtiene poniendo en marcha el grupo y midiendo el voltaje entre las terminales P2-P3, si el voltaje es superior a 5 vatios el generador tiene una operación normal, de lo contrario comprobar los devanados del generador y los diodos giratorios.

El voltaje normalmente para el generador a 60 hertzios es de 200 voltios - 216 voltios, si están fuera de este rango se desensambla el sombrerete del PMG, se procede a comprobar los hilos P2, P3 Y P4 y de tener o no continuidad, remplazar el rotor del PMG.

Comprobar que los voltajes de los bornes principales estén equilibrados dentro de 1 %, corresponde también asegurar que los diodos giratorios, los devanados principales y de excitación estén en condiciones óptimas, si no se encuentran en equilibrio suponer que la falla está en el devanado del estator, lo

que resulta en un elevado aumento de carga sobre el motor al imprimir excitación.

El equipo rectificador del transformador únicamente debe analizar la continuidad, pruebas de resistencia y verificaciones de aislamiento de resistencia.

El imán permanente se desmonta al quitar los cuatro tornillos que sujetan la tapadera metálica. Luego desconectar el conector de línea, remover los cuatro espárragos de fijación; imprimir fuerza para retirar el estator, finalmente retirar el perno en el centro del eje del rotor y remover el rotor.

Los cojinetes poseen un sistema de engrase permanente, desmontar estos utilizando extractores hidráulicos. Una vez hayan verificado y mantenido los diversos componentes del generador se desconectan todos los conductos de control colocados durante el proceso para luego arrancar el grupo. Se montan nuevamente las tapas de los bornes y se reconecta la alimentación de la calefacción.

- Motor de arranque

La presión mínima para operar el motor de arranque es de 480 Kilopascales. Hay que cerciorar que no exista fuga en las mangueras, tubos y líneas.

- Bombas de inyección e inyectores

Para el mantenimiento de los inyectores, retirar las sujeciones del inyector, retirar el inyector e identificar mediante alguna marca conforme el número del

cilindro; limpiar el inyector, el barreno del inyector y la boquilla; instalar nuevos aerosellos y lubricar, previamente. Verificar que el anillo del sello se encuentre en la punta del inyector. Instalar el inyector, tomando siempre la precaución que se deba encontrar encajado con la marca en la carcasa de los balancines; instalar las sujeciones del inyector.

El motor Cummins modelo QST30 utiliza bombas de combustible marca Bosch, regularmente para este modelo se utiliza la bomba modelo RP39.

Para desmontar la bomba, se requiere que se proteja el puerto de descarga de la bomba, retirar las conexiones eléctricas y las líneas de combustible y aceite.

Una vez realizado lo mencionado anteriormente proceder a: retirar la tapadera de balancines número uno, habrá que verificar que la posición sea la correcta según el orden de encendido correspondiente, si el cilindro está en la carrera de compresión las varillas de empuje estarán a la misma altura.

Remover el tapón del perno de sincronización, además hay que constatar que la bomba continúe bloqueada, seguidamente acoplar el perno de sincronización con la tapa y la respectiva arandela.

Para desmontar el acople de la bomba de inyección se requiere desensamblar los tornillos solamente el tornillo mayor debe quedar flojo, habrá que crear un tornillo separador y usarlo para aflojar la bomba de inyección, habrá que desensamblar la bomba y remover los tornillos de montaje.

Desmontar la bomba es una tarea delicada. Acoplar el adaptador del eje impulsor, remover los tornillos de soporte de la bomba de combustible y los tonillos de montaje.

Limpiar la bomba requiere de evaporar un solvente a manera de evitar una mala sincronización, el perno de sincronización se debe retirar previo a apretar la tuerca grande, ajustar la tuerca grande, asegurar dos piezas al acople del eje, el torque debe ser de 12 Newton - metro. Luego asegurar la tuerca que fija las 2 piezas del engrane impulsor al eje impulsor, llegar a la cantidad de torque de 434 Newton - metro. Colocar el aerosello de la tapadera del acople impulsor de la bomba de combustible, lubricar el sello y apretar las tuercas. Lubricar el canal de desagüe.

Para el montaje, nuevamente, cerciorar que el cilindro número uno se encuentre en la carrera de compresión, retirar el tapón del perno de sincronización, fijar el perno de sincronización con la tapa y la arandela; instalar el apoyo de montaje a la bomba de combustible, apretar los cuatro pernos, fijar el ensamble en el motor, ajustar los tornillos del apoyo y asegurar el perno de acoplamiento. Desbloquear el tornillo de sincronización invirtiendo su posición, instalar el perno, tapa y arandela; instalar el apoyo y los tornillos de cubierta.

3.2. Instrucciones de las operaciones

Bajo este título se describirá de manera resumida las operaciones que requieren los componentes para mantener el motor al margen de las especificaciones recomendadas por el fabricante; el puerto opera las 24 horas del día y los 365 días del año por lo que la Planta de Emergencia se debe mantener en condiciones óptimas mediante un mantenimiento adecuado y el uso

profesional del equipo, para lo cual los operadores deben estar plenamente capacitados en las operaciones en las cuales deberán intervenir.

El mantenimiento correcto del motor permitirá un desempeño adecuado, una contaminación ambiental mínima y una vida útil más prolongada y por ende redundará en beneficio económico de la empresa.

Se debe proceder con las inspecciones de mantenimiento descritas en las normas de mantenimiento diarias del subtítulo 3.1.1. supervisar cada día cuantificaciones de presión de aceite, paneles de temperatura, señales de advertencia entre otros indicadores que reporten las condiciones del motor de combustión.

- Procedimiento de arranque normal

Para el arranque se requiere un mínimo de 480 Kilopascales de presión de aire comprimido en el motor de arranque neumático, para disminuir o evitar desajustes al motor de arranque, es conveniente que no lo opere por más de 30 segundos. Hay que esperar 2 minutos entre cada intento para encender el motor.

Al arrancar el motor empieza a incrementarse la presión de aceite, si esta no aparece en los primeros 15 segundos apagar el motor y revisar que el nivel de aceite sea el adecuado; encendido el motor y con el correcto nivel de aceite mantener en los primeros 5 minutos al motor a una velocidad de 1 000 revoluciones por minuto; incrementar la velocidad moderadamente para que la lubricación se produzca de manera uniforme hasta alcanzar la velocidad normal de 1 800 revoluciones por minuto.

No mantenga el motor en modo ralentí por más de 10 minutos dado que descende la temperatura en la cámara de combustión y el combustible no se quemará completamente, el hollín tapaná los orificios de aspersión del inyector y los anillos del pistón y puede provocar, asímismo, la adhesión de las válvulas.

La temperatura del líquido refrigerante al descender por debajo de los 60 °C diluirá el aceite del cárter y las partes en movimiento no se mantendrán correctamente lubricadas, bajará también la cantidad de lubricante y esto causará daños al motor.

- Procedimiento de arranque después de paro extendido o de cambio de aceite

El motor Cummins QST30-G4 por el uso para generación de energía contiene un motor de prelubricación; sin embargo es conveniente asegurar que el motor reciba la dosis adecuadas de aceite, para esto debe desconectar el cable multipin de las bombas de aceite luego girar el cigüeñal mediante el motor de arranque para que aparezca en el tablero indicador la presión de aceite, conectar nuevamente el cable y arrancar el motor.

- Operando el motor

Periódicamente se debe dar seguimiento a los indicadores de presión de aceite y temperatura de refrigerante, asegurarse que son las descritas en las especificaciones de mantenimiento; el motor debe ser apagado si alguno de los parámetros de seguridad ha sido superado.

Si se percibe algún sobrecalentamiento corresponde disminuir la potencia del motor para que disminuya la temperatura de este, si esta no se normaliza

habrá que apagar el motor y consultar el manual Cummins en la sección diagnóstico de fallas o a un taller especializado en este tipo de motores.

Por lo general las fallas se perciben mediante sonidos, cambios en la eficiencia, aspecto del motor; algunas fallas que se pueden identificar son las fallas de encendido, vibración, ruidos anormales, cambios súbitos de temperatura y humo, disminución de la potencia, excesivo consumo de aceite y de combustible y fugas de combustible, aceite y refrigerante.

- Rango de operación del motor

Las sobrecargas de las revoluciones por minuto del motor acortan la vida útil. El motor no debe mantenerse por más de 30 segundos en la máxima aceleración ni por debajo de las revoluciones por minuto normal. La velocidad del motor por ninguna razón debe superar las 2 400 revoluciones por minuto.

- Paro del motor

Antes de apagar el motor hay que operar el motor a una velocidad de ralentí durante 4 minutos a manera de que su temperatura descienda ya que el sistema de enfriamiento deja de funcionar al apagarse el motor. Si es arranque manual gire la llave de encendido hasta la posición de apagado.

- Sistema de combustible controlado electrónicamente

Un sistema electrónico permite un control más preciso de combustible y por ende una menor cantidad de emisiones; el motor a estudiar cuenta con: 2 bombas de combustible, el módulo de control izquierdo regula la dosificación y pone a punto a la bomba del lado derecho; 2 válvulas de cierre de combustible,

sensor de presión de aceite, sensor de temperatura de refrigerante, sensor de velocidad del motor, arnés para el motor y cable adaptador, arnés del fabricante y módulo de control electrónico (ECM).

El ECM consta de las entradas del sensor de presión de aceite, ubicado a un costado del block del motor en la parte trasera de la bomba de combustible, el de temperatura del refrigerante ubicado en la parte superior de la carcasa del termostato, y el de la velocidad del motor alojado en la cubierta del disco volante. Todos ellos envían señales al sistema de protección del motor ubicado en ECM.

El ECM recibe señales de los sensores los interpreta y envía señales para controlar las válvulas de cierre de combustible, circuito de advertencia, circuito de alarma, actuador de la bomba de combustible, excitadores de medición y los excitadores de relevador.

El sistema de alimentación de combustible consta de dos bombas de inyección de combustible RP39 marca Bosch, inyectores, válvulas, arneses y sensores. Las bombas contienen actuadores que sincronizan la dosificación de combustible por medio de la decodificación que realiza el módulo de control eléctrico.

Los sensores que envían señales al módulo de control eléctrico son los siguientes:

- Posición del acelerador
- Presión del múltiple de admisión
- Temperatura del múltiple de admisión
- Presión de aceite
- Temperatura del refrigerante

- Nivel del refrigerante
- Presión del refrigerante
- Presión de aire ambiente
- Movimiento de la aguja
- Velocidad del motor
- Posición del motor
- Flujo del paso de gases al cárter
- Nivel de aceite
- Temperatura de aceite

Los sensores ubicados en las entradas de la bomba de combustible que se dejan monitorear y gobernar son:

- Posición del acelerador
- Presión del múltiple de admisión
- Temperatura del múltiple de admisión
- Velocidad del motor
- Movimiento de la aguja
- Posición del motor

Los datos de entrada son controlados para evitar daños a los actuadores de la cremallera, los actuadores de posición de la camisa y a la válvula de cierre de combustible.

- Características programables

El motor de interés posee un sistema CENSE™ el cual es un sistema de monitoreo utilizado para realizar diagnósticos y registrar datos en función del

tiempo; envía señales al módulo de control por decir alguno la temperatura de los gases de escape.

- Código de diagnóstico de falla

El motor tiene la capacidad de reportar y detallar condiciones irregulares, son códigos que interpreta el ECM y poder visualizar en el tablero de control, los códigos de falla están agrupados en dos tipos: falla en el sistema electrónico de combustible y fallas en el sistema de protección del motor.

Hay unos códigos que están permanentemente activos mientras otros no, solamente se puede visualizar en un sistema llamado INSITE™, que básicamente es un software de computadora. El sistema tiene que encontrarse energizado y en modo diagnóstico para poder examinarlo.

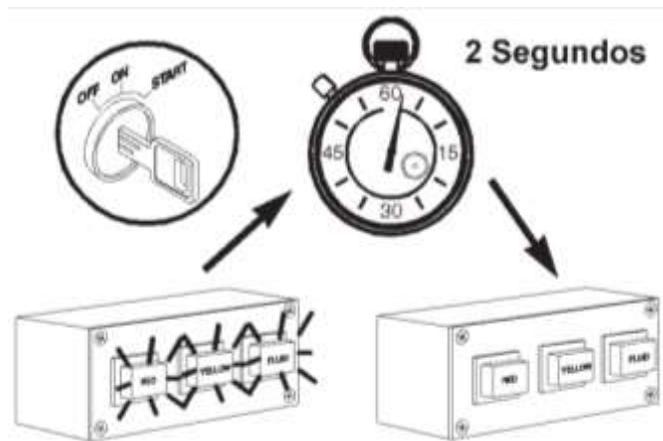
Si el sistema detecta alguna falla será energizada la advertencia común, esto no detendrá al motor solo advertirá al operario que existe alguna falla, es importante tener en cuenta que puede fallar algún sensor, el sistema quedará vulnerable, por lo que hay que tomar un pronta acción.

Está también la alarma común pero a diferencia de la de advertencia común esta si detiene el funcionamiento del motor. Es necesario presionar el botón que resetea la alarma ya que permanecerá activa incluso aun cuando esté corregida la falla. El ECM almacena los códigos de falla, el sistema CENSE™ los muestra y los retiene, de esta manera se hace y facilita un diagnóstico.

Los códigos de falla provienen de dos fuentes una es del sistema CENSE™ y la otra del sistema del motor; dichos códigos pueden encontrarse activos de estar la falla actualmente o inactivos de haber ocurrido la falla ya hace un tiempo, estos códigos de falla se visualizan en el tablero de control de estar activos, de lo contrario se debe recurrir al sistema INSITE™ para visualizarlos.

Las lámparas, cuando se acciona el interruptor de llave de encendido se mostrarán iluminadas por 2 segundos con el fin de verificar el estado, 2 segundos después de apagadas comienzan a relampaguear solamente las amarillas, las de advertencia, las que se encuentren activas; asimismo, se activará la lámpara roja de advertencia para indicar los códigos de falla activos para el sistema de combustible. La figura 26 ilustra lo que sucede con las lámparas de advertencia al momento de colocar el interruptor en *on* (encendido).

Figura 26. **Verificación de las luces de alarma con el interruptor de encendido**



Fuente: *Manual de operación y mantenimiento serie QST30*. www.automotrizenvideo.com.

Consulta: 8 de mayo de 2014.

Media vez el *swich* del interruptor de encendido este activo los códigos de falla permanecerán destellando; por ejemplo, si el código de falla 144 permanece activo, la lámpara amarilla destellará una vez pausará por 2 segundos y destellará 4 veces y luego pausará por 2 segundos para destellar nuevamente 4 veces; para diferenciar los códigos la lámpara se apagará durante 3 segundos entre cada código de falla.

- Tablas de diagnóstico y reparación de fallas

La secuencia, explicación y corrección de los códigos de fallas se encuentran en el manual de usuario de INSITE™.

- Registro de datos del código de fallas

Cuando se realiza un diagnóstico de códigos de fallas en el ECM los datos del sensor son interceptados y almacenados en un registro de datos instantáneo, se monitorean los valores por un determinado período anterior y posterior al momento de la falla. Los datos instantáneos, son los correspondientes a todos los sensores y registran los datos de entrada y salida para que sean vistas las relaciones, estos datos solo se pueden visualizar mediante la herramienta INSITE™.

- Sistema de protección del motor

Este sistema registra los datos de las presiones de aceite, combustible, velocidad, temperatura y fallas de diagnóstico; si ocurre, que no se encuentran dentro de los límites normales se accionará una alarma para llamar la atención del operador, la alarma se mantendrá energizada aun cuando ocurra el paro del motor. El sistema CENSE™ detecta el problema, enciende la lámpara de

advertencia y envía la información al módulo de control indicándole normas de seguridad, como por ejemplo disminuir la potencia.

- Operaciones para el generador

Si el generador no arranca se debe comprobar primeramente que el interruptor se encuentre en la posición de *on* (encendido); comprobar la velocidad; comprobar el voltaje; corregir con estos procedimientos, comprobar la excitación mediante una fuente externa.

Si se presenta un alto voltaje se comprueba que la carga del generador no sea capacitiva. Si por el contrario el voltaje es bajo, se debe realizar una prueba de excitación por fuente ajena. Si la caída de voltaje es excesiva se comprueba las condiciones del regulador del motor, si no, se comprueba la calibración del potenciómetro.

CONCLUSIONES

1. La disminución teórica de la polución proyectada para la Planta de Emergencia de la empresa Portuaria Quetzal por la introducción de biocombustibles es del 36,91 % de las emisiones de CO₂ que emite en un año.
2. La mejor mezcla sin realizar modificaciones al motor es la que establece el fabricante, un 20 % de biodiésel al diésel. Con esta mezcla se tiene una disminución del 2,41 % de la potencia y si se propone que el biocombustible y el diésel son los más viscosos se tiene un incremento de 0,48 centistokes en la viscosidad de la mezcla.
3. El depósito de combustible se elevó 16 centímetros para que no hayan inconvenientes con la lectura, almacenaje y flujo del combustible, se le cambió el visor y se verificó el estado.
4. Se creó un manual de operaciones para capacitar a los operarios de la Planta de Emergencia. El manual establece el modo de proceder antes, durante y después de la utilización de la Planta de Emergencia y la interpretación de la información que emite.
5. El mantenimiento que se efectúa es rutinario, se creó el manual de mantenimiento de la Planta de Emergencia, en él se involucran las rutinas de mantenimiento diario, semanal, anual, bianual y otros mantenimientos necesarios para conservarla en óptimo estado y en si la relación aire-combustible.

6. Se capacitó al personal encargado de la planta de emergencia en las operaciones de mantenimiento en un proceso de enseñanza-aprendizaje entre los operarios y los técnicos, además se creó un programa de capacitación dividido en dos fases para reforzar los conocimientos.

RECOMENDACIONES

1. Para realizar un análisis neto de la disminución de la contaminación deben sumar las emisiones de la quema del diésel y las emisiones generadas para producir el biocombustible, comparadas con la captación de CO₂ de cada una de las plantas que producen el biocombustible a utilizar.
2. Conforme a la consecución del proyecto la iniciativa se puede expandir hacia la flotilla de vehículos que posee la empresa, o bien hacia otras instituciones gubernamentales.
3. Tomar en cuenta las medidas pertinentes de seguridad industrial para el rediseño del depósito de combustible de la planta de emergencia, tales como equipo de protección individual, equipo contra incendios, evaluación de riesgos.
4. Si se requiere introducir en la totalidad biodiésel al sistema se debe modificar el sistema de bombeo e inyección, así como cambiar las piezas de goma del motor, dado que el motor en conjunto no está diseñado para combustible con esas características.
5. En caso se presente una situación anómala y no se encuentre la solución en el manual se puede consultar a la empresa productora de motores Cummins sobre los procedimientos o especificaciones requeridos.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALONZO PEREZ, José Manuel. 2007. *Técnicas del automovil: equipo eléctrico*. 10 ma. ed. Madrid: Thomson Ediciones Spain, 2004. 538 p. ISBN: 84-9732-273-8.
2. ARNAL ATARES, Pedro V. y LAGUNA BLANCA, Antonio. *Tractores y motores agrícolas*. 3ra. ed. España: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 531 p. ISBN: 84-7114-645-2.
3. BRUZOS, Tomás. *sabelotodo.org. sabelotodo*. [en línea] <http://www.sabelotodo.org/automovil/bombainyeccion.html>. [Consulta: mayo y junio de 2013].
4. CHAPMAN, Stephen J. *Máquinas eléctricas*. 3ra ed. Colombia: McGraw-Hill, 2004. 768 p. ISBN: 958-41-0056-4.
5. Cummins Incorporated. Hechos del biodiesel [en línea]. Disponible en Web: <www.cumminsengine.com>. [Consulta: julio de 2014].
6. GARCÍA ÁLVAREZ, José Antonio. *asifunciona*. [en línea]. Disponible en Web: <http://www.asifunciona.com/mecanica/af_motor_gasolina/af_motor_gasolina_5.htm>. [Consulta: agosto de 2013].
7. *Energía de la biomasa*. Instituto para para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), y Asociación de Periodistas de Información

Ambiental, (APIA). 2007. [en línea].
<http://www.energiasrenovables.ciemat.es/adjuntos_documentos/Biomas.pdf>. [Consulta: julio de 2013].

8. LUSZCYK, Daniel Antonio. *lawebtecnica* [en línea] Apoyada por Escuela Técnica de Educación No. 4.
<<http://lawebtecnica.freevar.com/elmec/grupelec/grupelec.html>>. [Consulta: agosto de 2013].
9. MONTATIXE ALMACHI, Walter Patricio; PILLAJO GUANO, Aníbal Geovanny. *Construcción de un tablero de transferencia automática de energía eléctrica para la central telefónica de Echandía*. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 82 p. 2008.
10. PALACIOS LÓPEZ, Gilmer David. *Análisis de eficiencia de un motor de combustión interna utilizando para el funcionamiento de una platna elécgrica de potencia de 1MW*. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala. 2007. 121 p.
11. URIBE MORÁN, Pablo Andrés. *Estudio de los efectos internos en el motor de combustión interna, por el uso de pastillas mejoradoras del rendimiento en el combustible, de los buses del transmetro de la empresa municipal de transporte (EMT)*. Trabajo de graduación de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010. 95 p.

APÉNDICE

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN MANTENIMIENTO PREVENTIVO I

MODALIDAD DEL EVENTO DE CAPACITACIÓN	Adiestramiento	
DESCRIPCIÓN DE LA CAPACITACIÓN	Instrucciones Generales de mantenimiento preventivo de plantas de emergencia	
DIRIGIDO A	Operadores de plantas eléctricas de emergencia	
DURACIÓN	4 horas	
CONTENIDO		
No.	Tema y Sub-temas	Tiempo (hr.)
1	Introducción, objetivos	½ h
2	Generalidades	½ h
3	Importancia de la rutina de mantenimiento preventivo	¾ h
4	Puntos importantes de mantenimiento para el operador	½ h
5	Recomendaciones generales para los operadores de plantas	

6	eléctricas	½ h
	Rutinas de mantenimiento preventivo	1 h

PROGRAMACIÓN

HORA	ACTIVIDAD
8:00 AM -- 8:30 AM	Introducción, objetivos
8:30 AM -- 9:00 AM	Generalidades
9:00 AM -- 9:45 AM	Importancia de la rutina de mantenimiento preventivo
10:00 AM -- 10:30 AM	Puntos importantes de mantenimiento para el operador
10:30 AM -- 11:00 AM	Recomendaciones generales para los operadores de plantas eléctricas
11:00 AM -- 12:00 PM	Rutinas de mantenimiento preventivo

Fuente: elaboración propia.

INSTRUCCIONES GENERALES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE PLANTAS DE EMERGENCIA

Instrucciones Generales de Mantenimiento Preventivo de Plantas de Emergencia

Introducción

Una planta de emergencia es un motogenerador que transforma la energía térmica de un combustible a energía mecánica, la cual por medio de inducción electromagnética se transforma en energía eléctrica. Necesita conservarse mediante rutinas de mantenimiento preventivo para asegurar su durabilidad y calidad.

Objetivo

Propiciar los lineamientos generales de las rutinas de mantenimiento preventivo a los operadores de la planta de emergencia de la E.P.Q.

Generalidades

Con el fin de conservar en buen estado funcional el sistema de emergencia y elevar su nivel de confiabilidad se realiza el servicio de mantenimiento preventivo, el cual consiste en la revisión y monitoreo del sistema en general, sustitución de filtros, cambio aceite y anticongelante.

Importancia de la rutina de mantenimiento preventivo

- Con el tiempo se disminuyen los paros imprevistos.
- Se mejora notoriamente la eficiencia de los equipos.
- Reducción de costos (al disminuir duplicidad de reparaciones, grandes reparaciones, mejor control)

Puntos importantes de mantenimiento para el operador

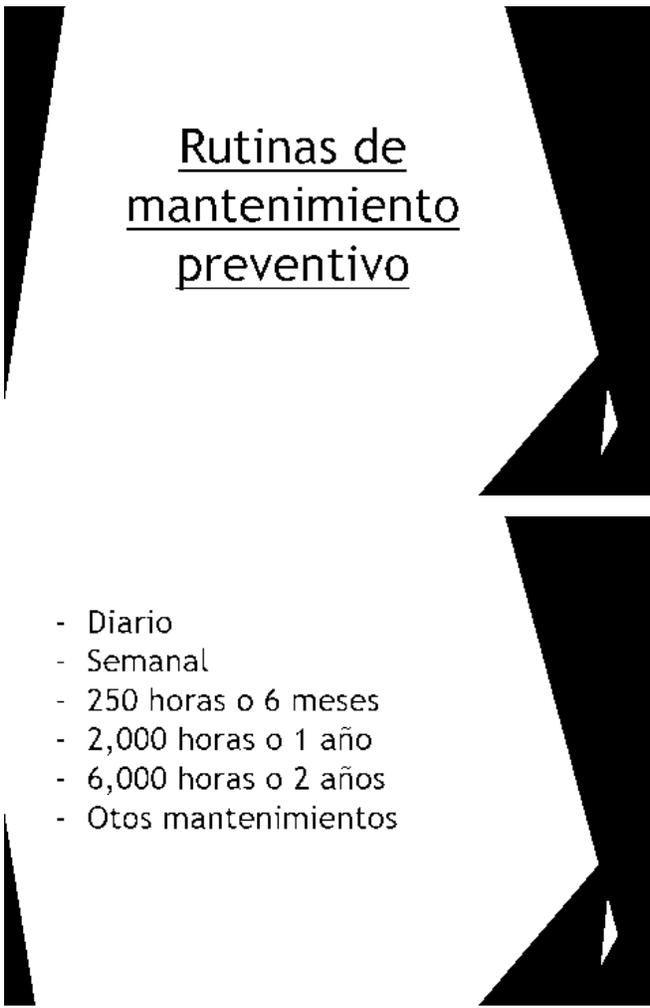
- Utilice el combustible, aceite, y refrigerante correctos en su motor, como se especifica en Especificaciones del Motor del manual Cummins para el modelo QST30 G4.
 - El manual contiene información necesaria para operar y mantener correctamente su motor como lo recomienda Cummins Engine Company.
 - Lleve un registro de todas las revisiones e inspecciones hechas.
 - Trabaje en un área circundante al producto que este seca, bien iluminada, ventiladas, libre de desorden.
-
- Utilice siempre gafas protectoras y zapatos protectores cuando trabaje.
 - No use ropa suelta ni rasgada.
 - Use siempre herramientas en buenas condiciones. Use siempre el mismo número de parte de tornillo cuando reemplace tornillos.
 - El refrigerante es tóxico, desecho de conformidad con las regulaciones locales.
 - La placa de datos del motor muestra hechos específicos acerca del motor.

Recomendaciones generales para los operadores de plantas eléctricas

Se recomienda mantener un historial de mantenimiento y fallas de la planta de emergencia.

- Procure que no entre tierra y polvo al motor, al generador y al interior de los tableros de control y transferencia.
- Conserve perfectamente lubricado el motor y la chumacera o chumaceras del generador y excitatriz

- Cerciórese que está bien dosificado el combustible para el motor.
- Compruebe que al operar el genset se conserve dentro de los rangos de operación:
 - a) Temperatura del agua 160 a 200 F.
 - a) Presión de aceite 40 a 60 Lbs.
 - b) Voltaje 208, 220, 440, 480V.
 - c) Frecuencia 58 a 62 Hz.
 - d) Corriente del cargador de batería 0.8 a 3Amp



Rutinas de mantenimiento preventivo

- Diario
- Semanal
- 250 horas o 6 meses
- 2,000 horas o 1 año
- 6,000 horas o 2 años
- Otros mantenimientos

Fuente: elaboración propia.

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN MANTENIMIENTO PREVENTIVO II

MODALIDAD DEL EVENTO DE CAPACITACIÓN		Adiestramiento	
DESCRIPCIÓN DE LA CAPACITACIÓN		Prácticas para el mantenimiento preventivo de la planta de emergencia de la E.P.Q.	
DIRIGIDO A		Operadores de plantas eléctricas de emergencia	
DURACIÓN		8 horas	
PRÁCTICAS A DESARROLLAR			
No.	Descripción de práctica	Equipos herramientas repuestos u otras necesidades	Duración (hrs.)
1	Rutina de Manto. diario	Llave de cangrejo de 6" y una navaja por operario, desatornillador plano, agua destilada, aceite SAE 40, bicarbonato	½ h
2	Rutina de Manto. semanal	Caja de herramientas (desarmadores, llaves), aceite SAE 40, cartucho de filtro de aire	¾ h
3	Rutina de Manto. semestral	Caja de herramientas, llave para filtros de aceite, rach, torquímetro, cedazo de la bomba de levante de combustible, filtro de combustible, aceite 15W40, aditivo refrigerante dca4, filtro de refrigeante	1 h
4	Rutina de Manto. anual	Caja de herramientas, rach, torquímetro, solvente, lana de calibrar de 0.03 mm, grasa para lubricación Premium, manguera	1 ½ h

		de silicona (min 100 psi, entre el block y el radiador)	
5	Rutina de Manto. bianual	Caja de herramientas, rach, torquímetro, refrigerante, anticongelante, limpiador RESTORE, sellos del termostato, polea loca de la banda del ventilador, bomba de agua, revelador de detección de grietas, sellos y aerosellos de la valvula del compresor de aire,	2 h
6	Otros mantenimientos	Caja de herramientas, rach, torquimetro, calibrador de tensión de bandas, mordaza de sujeción invertida, aerosellos para el inyector, aceite lubricante de motor, grasa para motor, extractor de engranes, aceite vegetal, solvente de limpieza evaporable.	1 ½ h

PROGRAMACIÓN

8:00 AM -- 8:30 AM	Rutina de mantenimiento diario
8:30 AM -- 9:15 AM	Rutina de mantenimiento semanal
9:15 AM -- 10:15 AM	Rutina de mantenimiento semestral
10:15 AM -- 10:30 AM	Receso
10:30 AM -- 11:45 AM	Rutina de mantenimiento anual
11:45 AM -- 1:15 PM	Receso
1:15 PM -- 3:15 PM	Rutina de mantenimiento bianual
3:15 PM -- 4:45 PM	Otros mantenimientos

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Factores de emisión de dióxido de carbono de combustibles

2. Carbon Dioxide Emission Factors for Transportation Fuels ¹			
Transportation Fuel	Emission Factors		
	Kilograms CO ₂ Per Unit of Volume		Kilograms CO ₂ Per Million Btu
Aviation Gasoline	8.32	per gallon	69.19
Biodiesel			
-B100	0.00	per gallon	0.00
-B20	8.12	per gallon	59.44
-B10	9.13	per gallon	66.35
-B5	9.64	per gallon	69.76
-B2	9.94	per gallon	71.80
Diesel Fuel (No. 1 and No. 2)	10.15	per gallon	73.15
Ethanol/Ethanol Blends			
-E100	0.00	per gallon	0.00
-E85	1.34	per gallon	14.79
-E10 (Gasohol)	8.02	per gallon	66.30
Methanol/Methanol Blends			
-M100	4.11	per gallon	63.62
-M85	4.83	per gallon	65.56
Motor Gasoline	8.91	per gallon	71.26
Jet Fuel, Kerosene	9.57	per gallon	70.88
Natural Gas	54.60	per Mcf	53.06
Propane	5.74	per gallon	63.07
Residual Fuel (No. 5 and No. 6 Fuel Oil)	11.79	per gallon	78.80

¹Emissions factors calculated from data in: (1) Energy Information Administration, Documentation for Emissions of Greenhouse Gases in the U.S. 2005, DOE/EIA-0638 (2005), October 2007, Tables 6-1, 6-4, and 6-5. (Non-biogenic carbon content and gross heat of combustion for motor gasoline and diesel (distillate fuel)). (2) U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Alternative Fuels & Advanced Vehicles Data Center, Fuel Properties web page (<http://www.eere.energy.gov/afdc/fuels/properties.html>). (Biodiesel gross heat of combustion). (3) Energy Information Administration, Annual Energy Review 2006, DOE/EIA-0384(2006), June 2007, Table A3, p. 361. (Gross heat of combustion for ethanol). (4) Stacy C. Davis and Susan W. Diegel, Transportation Energy Data Book, Edition 26, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-6978, 2007, Table B.7 Tables 6.7 and B.4. (Density and gross heat of combustion of methanol.)

Fuente: <http://www.eia.gov/oiaf/1605/coefficients.html>. Consulta: noviembre de 2013.

