



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

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
UTILIZADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA
ELÉCTRICA DE POTENCIA DE 1 MW**

Gilmer David Palacios López

Asesorado por el Ing. Juan Rodolfo Monzón Sánchez

Guatemala, noviembre de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN
INTERNA UTILIZADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
PLANTA ELÉCTRICA DE POTENCIA DE 1 MW**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

GILMER DAVID PALACIOS LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. JUAN RODOLFO MONZÓN SÁNCHEZ
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

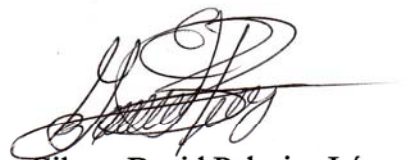
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuel Milson
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
EXAMINADOR	Ing. Héctor Alexander Juárez Reyes
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

**ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN
INTERNA UTILIZADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA
PLANTA ELÉCTRICA DE POTENCIA DE 1 MW,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha julio de 2006.



Gilmer David Palacios López

Guatemala, Mayo de 2007.

Señor
Ing. Julio César Molina Zaldaña
Coordinador de Área Térmica
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Coordinador:

Por este medio hago constar, a su coordinación que he asesorado y revisado el trabajo de graduación titulado **“ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA ELÉCTRICA DE POTENCIA DE 1 MW”**, presentado por el señor **GILMER DAVID PALACIOS LÓPEZ**. Este trabajo cumple con los objetivos trazados así como el soporte técnico necesario para los fines del mismo.

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

Atentamente,



Ing. Juan Rodolfo Monzón Sánchez
Colegiado 7407
Asesor.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA ELÉCTRICA DE POTENCIA DE 1MW, del estudiante Gilmer David Palacios López, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Una firma manuscrita en tinta negra que parece decir 'Julio César Molina Zaldaña'.

Ing. Julio César Molina Zaldaña
Coordinador de Área

Guatemala, septiembre de 2007.

/behdei

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica al Trabajo de Graduación titulado ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA ELÉCTRICA DE POTENCIA DE 1 MW, del estudiante Gilmer David Palacios López, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fredy Maurício Monroy Peralta
DIRECTOR



Guatemala, octubre de 2007.

/behdei

Universidad de San Carlos
de Guatemala




Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 469.2007

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: **ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA UTILIZADO PARA EL FUNCIONAMIENTO DE UNA PLANTA ELÉCTRICA DE POTENCIA DE 1 MW**, presentado por el estudiante universitario Gilmer David Palacios López, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRIMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, noviembre de 2007



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios, Jesús y Espíritu Santo

Por iluminar, Bendecir siempre mi vida y guiarme en los estudios para culminarlos con éxito.

Mis padres

Rosa Consuelo López Palacios

David Palacios Torres

Por su cariño y apoyo en las diferentes etapas de mi vida.

Mis hermanos

Limbar Celestino, Gloria Consuelo, Irma Yolanda, Rosa Luzminia y Erick Felipe

Por su comprensión y confianza.

Mis cuñados

Julio Eberto, Ernesto Jacinto, Eusebio, María Anabella y Petrona

Por sus excelentes consejos.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Juan Rodolfo Monzón Sánchez

Por su ayuda y amistad

Sres. Humberto Ortiz (D.E.P)

José Isabel Muñoz

Rodolfo Monzón

Sras. Georgi Oroxón

Juventina Paz

Claudia Sánchez

Por su ayuda incondicional

Mis compañeros de estudio

Alirio Luciano Zuleta García

Allan Armando Echeverría Gil

Duby Manuel Aguirre Montenegro

Edgar Adolfo Ramírez Martínez (D.E.P)

Gerson Barahona

Jorge Mario Muñoz Paz

Loyda Lizzette Vásquez

Luis Roberto Ortiz Oroxón

Wendy Elizabet Gómez

Por su apoyo y amistad

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	1
1.1 Aspectos generales.....	1
1.1.1 Historia del motor de cuatro tiempos.....	1
1.1.2 Principios de funcionamiento.....	3
1.1.3 Clasificación.....	3
1.2 Motor Diesel.....	5
1.2.1 Componentes.....	7
1.2.1.1 Bloque.....	8
1.2.1.2 Cilindros.....	8
1.2.1.3 Eje cigüeñal.....	9
1.2.1.4 Biela.....	9
1.2.1.5 Pistón.....	10
1.2.1.6 Culata.....	10
1.2.1.7 Leva y eje de levas.....	10
1.2.1.8 Carter.....	11
1.2.1.9 Válvulas.....	11
1.2.1.10 Eje de balancines.....	12
1.2.1.11 Cámara de combustión.....	12

1.2.2	Ciclo de trabajo.....	14
1.2.3	Sistema de enfriamiento.....	17
1.2.3.1	Elementos de sistema de enfriamiento.....	18
1.2.3.1.1	Cámaras de refrigeración.....	19
1.2.3.1.2	Radiador.....	20
1.2.3.1.3	Ventilador.....	21
1.2.3.1.4	Bomba de agua.....	22
1.2.3.1.5	Termostato.....	23
1.2.3.1.6	Líquido de refrigeración.....	24
1.2.3.2	Funcionamiento.....	24
1.2.4	Versatilidad.....	25
1.2.5	Ciclo termodinámico.....	26

2. DETERMINACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.....29

2.1	Condiciones de trabajo.....	29
2.1.1	Altitud.....	30
2.1.2	Fuentes de calor.....	30
2.2	Tipo de combustible.....	31
2.2.1	Selección.....	31
2.2.2	Propósitos del combustible.....	32
2.2.3	Características del combustible.....	33
2.2.4	Clasificación del combustible.....	35
2.2.5	Contaminantes.....	36
2.2.6	Corrosión por azufre.....	37
2.3	Dosificación de carga.....	38
2.3.1	Procedimiento.....	38
2.3.1.1	Arranque y dosificación inicial.....	38
2.3.1.2	Dosificación complementaria.....	39

2.3.1.3	Verificación de parámetros.....	39
2.3.2	Identificación de variaciones.....	40
2.4	Nivel de vibración.....	41
2.4.1	Definición.....	41
2.4.2	Propiedades de vibración.....	42
2.4.3	Tipos de vibración.....	44
2.4.3.1	Vibración armónica.....	44
2.4.3.2	Vibración periódica.....	44
2.4.3.3	vibración mecánica.....	44
2.4.4	Tipos de sensores.....	45
2.4.4.1	Sensor de desplazamiento.....	45
2.4.4.2	Sensor de velocidad.....	47
2.4.4.3	Sensor de aceleración.....	47
2.4.5	Criterios para seleccionar un sensor.....	50
2.5	Procedimiento de arranque.....	51
3.	ESTUDIO TÉCNICO DE MOTOR.....	53
3.1	Sobrealimentación.....	53
3.1.1	Componentes.....	53
3.1.2	Control de presión.....	55
3.2	Parámetros de velocidad.....	56
3.3	Parámetros de temperatura.....	57
3.4	Sistema de inyección.....	58
3.4.1	Circuito de baja presión.....	60
3.4.1.1	Depósito de combustible.....	60
3.4.1.2	Bomba de alimentación.....	60
3.4.1.3	Filtro.....	62
3.4.2	Circuito de alta presión.....	62
3.4.2.1	Bomba de inyección lineal.....	63

	3.4.2.1.1	Elementos.....	63
	3.4.2.1.2	Funcionamiento.....	66
	3.4.2.1.3	Dosificación de combustible....	67
	3.4.2.2	Inyectores.....	68
	3.4.2.2.1	Funcionamiento.....	70
	3.4.2.2.2	Tipo de inyector.....	70
3.5		Sistema de regulación.....	70
	3.5.1	Clase de regulador.....	71
	3.5.2	Elementos.....	72
3.6		Rendimiento.....	72
	3.6.1	Térmico.....	73
	3.6.2	Rendimiento volumétrico.....	75
3.7		Pruebas de compresión.....	75
3.8		Puesta a punto del motor.....	77
	3.8.1	Puesta a tiempo de ejes.....	77
	3.8.2	Puesta a tiempo de bomba de inyección.....	79
3.9		Sistema de enfriamiento.....	80
	3.9.1	Clases de líquidos.....	80
	3.9.2	Refrigerante apropiado.....	81
3.10		Lubricación.....	81
	3.10.1	Propiedades.....	82
	3.10.1.1	Propiedades físicas.....	82
	3.10.1.2	Propiedades térmicas.....	83
	3.10.1.3	Propiedades químicas.....	84
	3.10.2	Clasificación.....	86
	3.10.2.1	Aceites calidad SAE.....	86
	3.10.2.2	Aceites calidad API.....	86
	3.10.2.3	Aceites calidad ACEA.....	87
	3.10.3	Elementos.....	89

3.10.4	Tipo de lubricante.....	91
4.	MANTENIMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA....	93
4.1	Tipos de mantenimiento.....	93
4.2	Mantenimiento correctivo.....	94
4.2.1	Frecuencias de fallas.....	94
4.2.2	Plan de acción inmediata.....	95
4.3	Mantenimiento preventivo.....	96
4.3.1	Inspección diaria de operación.....	99
4.3.1.1	Inspección inicial.....	99
4.3.1.2	Inspección en operación.....	99
4.3.2	Actividades periódicas de mantenimiento.....	101
4.3.2.1	Sistema de regulación.....	101
4.3.2.2	Sistema de enfriamiento.....	103
4.3.2.3	Sistema de lubricación.....	105
4.3.2.4	Sistema de inyección.....	106
4.3.2.4.1	Elementos de baja presión.....	107
4.3.2.4.2	Elementos de alta presión.....	108
4.3.2.5	Revisiones de pistones, anillos y bielas.....	109
4.3.2.6	Revisión de eje cigüeñal y árbol de levas.....	110
4.3.2.7	Control de mantenimiento.....	111
4.3.2.7.1	Fichas de registro.....	111
4.3.2.7.2	Órdenes de trabajo.....	113
	CONCLUSIONES.....	117
	RECOMENDACIONES.....	119
	BILIOGRAFÍA.....	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Componentes principales de un motor Diesel.....	15
2.	Ciclo de trabajo del motor Diesel.....	17
3.	Circuito de enfriamiento.....	25
4.	Ciclo diesel teórico.....	27
5.	Esquema para dosificación de carga.....	40
6.	Propiedades de vibración.....	43
7.	Sensor de desplazamiento.....	46
8.	Sensor de velocidad.....	48
9.	Sensor de aceleración.....	49
10.	Turbo compresor.....	55
11.	Bomba de inyección lineal.....	65
12.	Etapas de funcionamiento.....	67
13.	Elemento para dosificar el combustible.....	68
14.	Inyector.....	69
15.	Esquema del sistema de inyección.....	71
16.	Esquema del sistema de lubricación.....	91
17.	Esquema plan de acción inmediata.....	97
18.	Ficha de control de paros.....	98
19.	Ficha inspección inicial.....	100
20.	Ficha inspección en operación.....	102
21.	Ficha técnica del motor.....	112

22.	Ficha de actividades.....	114
23.	Orden de trabajo.....	115

TABLAS

I.	Etapas cronológicas del motor de combustión interna.....	2
II.	Clasificación de motores.....	4
III.	Diferencias entre un motor Diesel y un gasolina.....	7
IV.	Velocidad del motor.....	57
V.	Temperaturas del motor.....	59
VI.	Clasificación SAE.....	87
VII.	Clasificación API.....	88
VIII.	Clasificación ACEA.....	89

GLOSARIO

Aditivos	Producto que se mezcla o adiciona a otro, para mejorar las cualidades en los motores de combustión interna, los aditivos antidetonantes se añaden al combustible para disminuir el golpeteo, los aditivos detergentes, anticorrosivos se agregan al aceite lubricante.
Alcalinidad	Propiedad de las sustancias químicas capaces de ceder iones negativos cuando están en disolución acuosa.
Alifático	Compuesto orgánico de cadena abierta que tienden a disolverse en los solventes tales como alcohol etílico.
Anilina	Es un líquido incoloro que se oscurece por exposición al aire, tiene olor característico y es tóxico, destila en corriente de vapor, se disuelve fácil en varios disolventes orgánicos pero es poco soluble en el agua.
Balancín	Pieza mecánica que suele oscilar alrededor de su punto medio y es usado para transmitir el movimiento de una leva a la válvula a través de la varilla empujadora o directamente.
Base	Sustancia que puede aceptar uno o más protones de otras sustancias que se comportan como ácidos.

Cavitación	Formación de burbujas de vapor en el seno de los líquidos, bien por vaporización de los mismos a causa de sólidos que entran en contacto a gran velocidad o por la acción de ondas sónicas de alta frecuencia.
Cetano	Combustible con óptima facilidad de ignición, también es el grado que mide la capacidad de un combustible para inflamarse al someterlo pulverizado a una determinada compresión.
Destilación	Proceso industrial empleado para la obtención de los diferentes productos combustibles y lubricantes a partir del petróleo bruto, se fundamenta a que este último, es una mezcla complicada de bastantes hidrocarburos de distinta densidad y temperaturas de ebullición.
Elastómero	Material caracterizado por tener gran elasticidad, excelente capacidad para la deformación plástica, puede ser natural como el caucho o sintético como algunas siliconas que conservan características a temperaturas muy elevadas.
Empujador	Dispositivo mecánico intermediario entre la leva y la varilla empujadora que transmite el movimiento al balancín para la abertura de válvulas.
Endotérmica	Reacción acompañada de absorción de calor para esto, es necesario elevadas temperaturas exteriores.

Esteres	Producto de la condensación de una molécula de un ácido orgánico con otra de un alcohol con eliminación de una molécula de agua, la reducción catalítica de los esteres, se puede efectuar al usar el hidrógeno como reductor en presencia de catalizadores.
Gasoil	Combustible líquido empleado en motores Diesel, procede como la mayoría de la destilación del petróleo crudo, se obtiene a continuación del queroseno, se conoce como aceite Diesel.
Siliconas	Polímero cuya cadena principal está formada por uniones respectivas de silicio y oxígeno, según el grado de polimerización, adoptan la forma de aceites, grasas, elastómeros, tienen alta resistencia térmica, baja adhesividad y carácter hidrofobo.
Síntesis química	Obtención de un compuesto químico a partir de moléculas más sencillas, también es la formación de un componente a partir de una sustancia de estructura conocida por una sucesión de reacciones.
Reversible	Propiedad de algunos procesos de desarrollarse de forma que el sistema atraviese una sucesión de estados de equilibrio y regresar a la posición original.

RESUMEN

Es importante aprovechar de forma correcta la energía mecánica que produce el motor de combustión interna a través del combustible utilizado, además es conveniente conocer las diferentes características que presentan los gases de escape porque esto contribuye a determinar cuando el proceso de combustión, se realiza correctamente.

La operación del motor involucra varios factores internos y externos que deben controlarse y afinarse con periodicidad para obtener las condiciones óptimas de trabajo y con esto garantizar que la unidad de generación produzca la corriente eléctrica sin interrupciones.

Para obtener un funcionamiento constante del motor de combustión interna, es importante la aplicación de procedimientos de arranque, técnicas de análisis, registros de control y establecer un mantenimiento preventivo que proporcione la óptima eficiencia de operación y el máximo aprovechamiento de los recursos invertidos.

OBJETIVOS

GENERAL

Realizar un estudio técnico que analice la eficiencia de un motor de combustión interna acoplado a un generador eléctrico.

ESPECÍFICOS

1. Describir el funcionamiento y componentes de un motor de combustión interna.
2. Indicar los problemas más comunes que se presentan en la operación de un motor.
3. Aplicar técnicas y procedimientos adecuados que proporcionen la máxima eficiencia.
4. Establecer controles estándar de mantenimiento preventivo y correctivo para el funcionamiento del motor.

INTRODUCCIÓN

En el área rural del medio guatemalteco, se desarrollan procesos y/o proyectos importantes que generan beneficios al crecimiento del país y además constituyen una fuente de trabajo estable para los habitantes de estos lugares. En el interior del país la extracción de petróleo, es un proceso que no dispone del servicio de energía proporcionado por el sistema de electrificación nacional, debido a esto se acude a la utilización del motor de combustión interna como fuente mecánica de accionamiento a la unidad generadora y obtener de esta manera la energía necesaria para el cumplimiento de las diferentes actividades del proceso.

El presente trabajo se enfoca al análisis de los aspectos que intervienen en el funcionamiento del motor para obtener óptimos resultados; en el capítulo uno se realiza la descripción de componentes, sistemas involucrados, versatilidad y clasificación del motor de combustión interna. En el capítulo dos, se determinan los factores que intervienen en la operación, así como los procedimientos de arranque y dosificación de carga.

El estudio técnico de los sistemas del motor, los parámetros establecidos de operación, el plan reacción inmediata para fallas presentadas, las actividades de mantenimiento preventivo, los controles requeridos para llevar registros de los trabajos efectuados como la planificación de los mismos, aparecen el capítulo tres y cuatro.

1. MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor de combustión interna es una máquina que en nuestro medio tiene varias áreas de aplicación y a través de un correcto funcionamiento, se obtiene la energía mecánica para realizar varias actividades importantes.

1.1 Aspecto generales

Es un mecanismo que transforma la energía calorífica en energía mecánica, pertenecen a esta clase los motores de explosión, diesel; en cambio una turbina de vapor no corresponde a este tipo de máquinas.

1.1.1 Historia del motor de cuatro tiempos

De acuerdo con registros históricos, el conocimiento más antiguo que se tiene, respecto al empleo de un cilindro con su émbolo, se atribuye a las tribus malayas aborígenes quienes obtienen fuego por la rápida compresión de un émbolo en un tubo de bambú.

Existen diversos indicios que señalan, que de forma categórica, las diversas etapas que supera la ciencia para desarrollar el motor de combustión interna que se utiliza en nuestros días. Se debe recordar que en principio, la aplicación del motor de cuatro tiempos es de forma exclusiva para automóviles, luego el desarrollo técnico y la experimentación abren el camino al motor inyección de aceite mineral, conocido como motor diesel.

Una descripción específica y de fácil acceso que contiene el proceso evolutivo y cronológico del motor de cuatro tiempos, se presenta en el tabla I.

Tabla I. Etapas cronológicas del motor de combustión interna.

Fecha	Etapas
1680	El físico holandés Huyghens realizó el intento de producir energía quemando pólvora en un cilindro.
1860	El francés Lenoir construye, el primer motor de combustión interna, accionado por gas de alumbrado y capaz de moverse, aunque de nulo rendimiento, era una máquina de gas sin compresión con inductor de chispas y pistón de doble efecto.
1862	El francés Beau de Rochas patenta un ciclo de trabajo en donde se segmenta el proceso necesario para la combustión.
1864	Nikolaus Otto y Eugen Laugen fundan la primera fabrica de motores en Deuts.
1867	Los alemanes Nikolaus Otto y Eugen Langen, utilizan el ciclo de trabajo patentado por Beau de Rochas, para construir la máquina de gas atmosférico sin compresión, que trabaja mediante la presión exterior del aire. Esta se presenta en la exposición universal de Paris, como un motor de combustión interna perfeccionado con rendimiento aproximado de nueve por ciento.
1878	Nikolaus Otto construye el primer motor de gas con compresión y funcionamiento con el sistema de trabajo de cuatro tiempos, con un rendimiento de nueve por ciento.
1883	Gottlieb Daimler y Wilhelm Maybach desarrollan el primer motor rápido de gasolina de cuatro tiempos con encendido por tubo incandescente.
1884	Nikolaus Otto construye el encendido por magneto de baja tensión.
1887	Robert Bosch construye el encendido electromagnético por chispa de ruptura de alta tensión para motores estacionarios.
1893	Wilhem Maybach inventa el carburador de tobera de inyección.
1893	Henry Ford construye el primer automóvil accionado con motor Otto de cuatro tiempos en Estados Unidos.
1893	El DR. Rodolphe Diesel publica la obra titulada Teoría y Construcción de un motor racional.
1897	El Dr. Diesel logra construir el primer motor con este nombre.
1920	Robert Bosch perfecciona la bomba de inyección que permite el uso del motor diesel en varias áreas.
1939	Brown Boveri construye el primer motor Otto de cuatro tiempos estacionario.
1957	Wankel construye el motor de pistón rotativo.
1968	Bosch construye el sistema de combustible inyectado a presión.
1970	Inicia la reducción de tamaño y peso del motor diesel, se fabrica el motor perkins.
1971	La empresa Toyota lanza al mercado su sistema de inyección electrónica de combustible.
1980	El motor diesel tiene mayor popularidad hace uso de turbo compresores que dotan al mismo de mejores cualidades termodinámicas.
1990	Se produce el auge del motor diesel porque, se usa la inyección directa de combustible.

1.1.2 Principios de funcionamiento

La fuente de energía que permite que un motor de combustión interna trabaje, es el calor producido por la combustión de una mezcla de aire con cierto tipo de combustible. El proceso de combustión tiene lugar dentro de un cilindro sellado que contiene un pistón, una biela-manivela y todo el conjunto se mueve de arriba hacia abajo.

Dentro del cilindro el pistón se mueve y transforma la fuerza de presión que se produce dentro de la cámara de combustión en un torque suficientemente fuerte para mover un eje, es decir que el movimiento rectilíneo del pistón se convierte en movimiento de rotación.

Cuando la combustión tiene efecto el calor producido se convierte en presión que es utilizada mecánicamente para producir potencia. A medida que el combustible, se quema y el pistón desciende, la cámara se hace más grande esto permite la utilización continua de esta presión.

1.1.3 Clasificación

La clasificación del motor de combustión interna, se realiza al tomar en cuenta varios aspectos mecánicos y factores que intervienen en el funcionamiento para conocer las clases comunes de motores que existen, se presenta la tabla II.

Tabla II. **Clasificación de motores.**

Tipo de	Clase de motor
Ciclo	Otto Diesel Lenoir Brayton
Pistón	Simple efecto Doble efecto Manivela única Manivela doble Pistón buzo Pistón con faldón Ciclo de dos tiempos Ciclo de cuatro tiempos
Disposición y número de cilindros	En línea 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 En V 2,4,8,12,16 Radial 2,3,5,7,9,11,12 Radial en batería 1,2,3,4 Tipo X Tipo de barril
Posición del cilindro	Horizontal Vertical Invertido
Válvulas	De seta En la culata Cabeza en L Cabeza en T Cabeza en F De camisa Rotativas Lubreras
Ignición	Chispa Compresión Cabeza ardiente
Arranque	Por batería Por aire comprimido Por inercia Por cartucho Por motor auxiliar
Refrigeración	Líquida Aire
Lubricación	Cisterna húmeda Cisterna seca A presión
Alimentación de combustible	Carburador Inyección de combustible Combinación
Alimentación de aire	Aspiración natural Sobrealimentación Barrido

1.2 Motor diesel

Es un motor de combustión endotérmica, constituye su principal diferencia el sistema de alimentación y la forma que se realiza la combustión los elementos constitutivos son similares a un motor de explosión, aunque existen variaciones constructivas específicas para proporcionar mayor robustez a aquellas partes que soportan presiones de trabajo más elevadas.

La teoría del funcionamiento se basa en cuanto más se comprime una determinada cantidad de gas, más aumenta la temperatura, todo lo contrario sucede cuando se expande el volumen del gas, además a mayor diferencia entre las temperaturas del gas y por consiguiente en los dos volúmenes antes y después de la compresión mejor funciona el motor, es decir que mayor, es el trabajo producido al suministrar una determinada cantidad de energía.

La creación y desarrollo del motor Diesel se fundamenta en la obtención de un mayor rendimiento que el motor a gasolina, esto se consigue con la utilización de un combustible pesado y una relación volumétrica de compresión elevada, esta última es posible porque se aspira y comprime únicamente aire, en lugar de una mezcla.

El combustible que utiliza esta clase de motor debe introducirse a una presión aproximada entre cien y doscientos cincuenta kilogramos por centímetro cuadrado y mezclarse con el aire comprimido. El combustible líquido entra en forma de chorro finamente pulverizado que se evapora rápidamente al absorber calor de la alta temperatura existente en la cámara de combustión, al combinarse de forma homogénea con el aire y reaccionar con el oxígeno se produce la combustión.

Es importante mencionar que además de las características constructivas respecto a un motor de explosión, existen también ventajas e inconvenientes del motor diesel comparándolo con el anterior.

Ventajas

- Menor consumo de combustible aproximadamente en treinta por ciento.
- Mejor rendimiento térmico transformado en potencia útil.
- El combustible utilizado es de menor valor económico.
- Emite menores concentraciones de monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (HC).
- En términos generales tiene menos averías y costo de mantenimiento más económico.

Inconvenientes

- Por su construcción y peso necesita estructuras de soporte más resistentes.
- Debido a elaboración del motor y la complejidad de la inyección, el valor económico de adquisición es más elevado.
- Algunas reparaciones resultan costosas debido a la tecnología y a la especialización que requiere.

Las diferencias específicas entre un motor y otro, se pueden visualizar en la tabla III.

Tabla III. **Diferencias entre un motor diesel y un gasolina.**

Diferencias	Tipo motor	
	Diesel	Gasolina
Ciclo	Diesel	Otto
Combustible	Gasoil	Gasolina
Mezcla	Aire y diesel pulverizado	Aire y gasolina pulverizada
Inflamación	Por sí solo	Por chispa
Sistema de encendido	No	Sí
Relación de compresión	De 12 a 22	De 6.5 a 11
Carburador	No	Si
Inyección	Siempre	A veces
Combustión	A medida que entra gasoil	De toda la mezcla
Construcción	Pesada	Ligera y simple

1.2.1 Componentes

El motor Diesel se conoce también con el nombre de aceite pesado o de combustión, reconocible fácilmente por la ausencia de componentes como bujías, cables, bobina de encendido pero, se pueden observar diferentes componentes con reforzamiento por las presiones internas que son elevadas.

1.2.1.1 Bloque

Es la estructura de un motor donde se colocan los cilindros, contiene pasos para el agua de refrigeración o conductos de distribución, se fabrican de hierro fundido, requiere de mayor rigidez y tensión debido a que se producen presiones altas en los motores Diesel, el bloque puede tener camisas enfriadas por aire y camisas secas o húmedas enfriadas por agua.

Es importante distinguir que en servicio liviano se usan bloque de una sola pieza y en trabajo pesado para prolongar la vida útil del motor es necesario el uso de camisas húmedas.

1.2.1.2 Cilindros

Los cilindros forman casi siempre un solo conjunto pero si el tamaño, se hace grande la culata se divide en dos partes, su material de fabricación es de fundición o aleación ligera de aluminio con reforzamiento, tienden a ser siempre inmóviles de tipo de camisa húmeda con el objeto de hacer más resistentes sus paredes como si estuviesen mecanizados directamente en el bloque.

Es el lugar donde se mueve el pistón de forma alternativa de un punto a otro, se realiza la combustión y se genera la presión que actúa sobre el pistón para hacer girar el cigüeñal.

1.2.1.3 Eje cigüeñal

Es el eje principal giratorio acodado o excéntrico con brazos de manivela lugar donde se conectan las bielas, este mecanismo convierte el movimiento lineal del pistón en movimiento circular que realiza el cigüeñal.

En el motor Diesel el cigüeñal es forjado más que fundido el proceso de manufactura resulta costoso debido a que es necesario proporcionarle mayor resistencia, está apoyado en rodamientos intercalados entre codos, por ejemplo: cinco en el motor de cuatro cilindros y siete apoyos cuando es de seis cilindros.

1.2.1.4 Biela

Es una pieza fundamental en el tren alternativo de un motor que consiste en una barra con dos ensanchamientos en sus extremos para alojar en ellos el cigüeñal y el pistón, se encarga de transmitir la fuerza creada en la combustión sobre el pistón para originar el movimiento de rotación, en el eje cigüeñal.

Es un componente fabricado de material forjado, la biela es ranurada en espiral a lo largo del cuerpo de la misma para proporcionar una buena lubricación al bulón y en algunos casos los conductos se utilizan para realizar enfriamiento al pistón.

La cavidad del cuerpo de la biela en ocasiones, se desbalancea con el objeto de reducir las cargas impuestas en los pernos y permitir un juego que posibilita el retiro de la biela a través del cilindro.

1.2.1.5 Pistón

Esta diseñado más fuerte que un pistón del motor a gasolina debido a las cargas fuertes de presión se construyen de acero reforzado por la resistencia que tienen que soportar, la forma de la cabeza del pistón cambia según el diseño de la cámara de combustión, el tipo de inyección y el juego requerido de la válvula.

Estos elementos por la compresión de trabajo que realizan requieren que los anillos utilizados efectúen un sello o cierre hermético, por eso se instalan cuatro anillos de compresión y varios de aceite.

1.2.1.6 Culata

Parte de un motor que cierra los cilindros por la parte superior, forma la pared fija de la cámara de combustión, aloja las válvulas de admisión y escape, además esta provista de orificios para permitir el paso del fluido, encargado de la refrigeración, se utilizan culatas individuales por cilindro o grupos de cilindros para evitar torceduras en superficies grandes que pueden estar sometidas a mayor deformación también permite la facilidad de servicio y movimiento de componentes en motores de cilindradas grandes.

1.2.1.7 Leva y eje de levas

La leva es una prolongación excéntrica montada sobre un eje de revolución y dispuesta de forma que proporcione movimiento rectilíneo a un vástago o varilla, el que vuelve a la posición inicial por la acción de un resorte.

El eje de levas es pieza fundamental de los mecanismos de la distribución tiene instaladas de forma apropiada levas que accionan las válvulas de motor por medio de empujadores, es conducido por el cigüeñal mediante engranajes, ruedas dentadas a través de cadena o por poleas y faja dentada.

Cuando el eje de levas se encuentra en el bloque del motor los empujadores están montados sobre los lóbulos de las levas el movimiento hacia arriba y abajo, lo transmite las varillas empujadoras, mientras los balancines actúan sobre las válvulas. Además, es importante indicar que el diseño del eje puede tener una leva que realice el accionamiento de los inyectores.

1.2.1.8 Carter

Es la parte inferior del motor, donde se encuentra fijado el eje cigüeñal y también se realiza el movimiento de rotación del mismo; está dividido en parte superior e inferior: La primera está constituida por el área bajo del bloque y la segunda está formada exclusivamente por el depósito para el aceite de lubricación.

1.2.1.9 Válvulas

Son dispositivos instalados en la culata del motor, se deslizan en guías en un plano vertical, inclinado o según el diseño al ser accionados por el movimiento proveniente del balancín correspondiente, en este momento la válvula está abierta, luego la aplicación del balancín desaparece y retorna a la posición inicial a través de la fuerza de un resorte instalado en el cuerpo de la misma, en esta posición la válvula está cerrada.

La válvula que permite el ingreso del aire al cilindro, se conoce con el nombre de admisión y la que permite la salida de los gases resultantes de la combustión, se llama válvula de escape.

1.2.1.10 Eje de balancines

Es un eje que tiene alojados y distribuidos de forma adecuada los balancines quienes se encargan de proporcionarle accionamiento a las válvulas del motor.

1.2.1.11 Cámara de combustión

Es el espacio que queda determinado en el interior del motor por el plano existente en la cabeza del émbolo en el punto muerto superior y la periférica de la culata y es el lugar donde, se realiza el proceso de combustión. Se puede indicar la existencia de cámaras de precombustión, de turbulencia y abiertas.

Cámaras de precombustión

Consiste en un espacio ubicado en la culata, cerca de la parte superior del cilindro, el inyector está montado de forma que el combustible ingrese al lugar de precombustión a una presión de 124 a 145 Kg/cm², la cantidad de oxígeno que existe en esta cámara es suficiente para la combustión de una parte del combustible inyectado con esto se logra un incremento en la presión. El resto de material no quemado es enviado a la cámara principal por la presión generada, donde termina la combustión.

Durante el tiempo de compresión, el aire entra a la cámara auxiliar, al hacer contacto con la superficie de esta, cede calor y disminuye su temperatura, la consecuencia es un dificultoso arranque en frío del motor en comparación con la inyección directa, por esta razón, se instalan bujías de encendido en la cámara auxiliar para iniciar la combustión al inflamar las partículas de combustible en los alambres incandescentes. El funcionamiento de la cámara de precombustión esta basado en que todo aceite combustible contiene cierta cantidad de hidrocarburos ligeros que se volatizan a temperaturas considerables bajas.

Cámara de turbulencia

Consta también de un espacio separado de la cámara principal, que se enlazan a través de un canal que tiene sección transversal relativamente grande y termina de forma tangencial en la cámara de turbulencia. Al comprimirse el aire, éste se conduce sin mayor resistencia por el canal de enlace, pero al llegar a la desembocadura tangencial y la forma esférica de la cámara, se produce una gran turbulencia de aire y es cuando, se inyecta el combustible a una presión de 124 a 140 Kg/cm². El precalentamiento del aire y la iniciación de la combustión tiene que realizarse por medio de una bujía de encendido.

La cámara de turbulencia favorece las condiciones de la mezcla para obtener una combustión más perfecta, una mejor atomización del combustible, esto permite trabajar entre amplios límites de velocidad y de carga sin producir humo. Además se logra el funcionamiento en vacío durante prolongados períodos de tiempo sin obstruirse la boquilla de inyección.

Cámara abierta

Tiene la forma más sencilla y se encuentra situada por lo general en la parte superior del pistón, por el diseño que tiene permite; la inyección directa del combustible, la proyección rápida del mismo contra el aire, menor producción de turbulencia, pérdida mínima de calor del aire, pero requiere inyectores de teflón que contengan múltiples orificios para lograr, el ingreso del combustible de forma correcta y exacta, a una presión entre 180 a 206 Kg/cm². Los componentes principales del motor Diesel, se presentan en la figura 1.

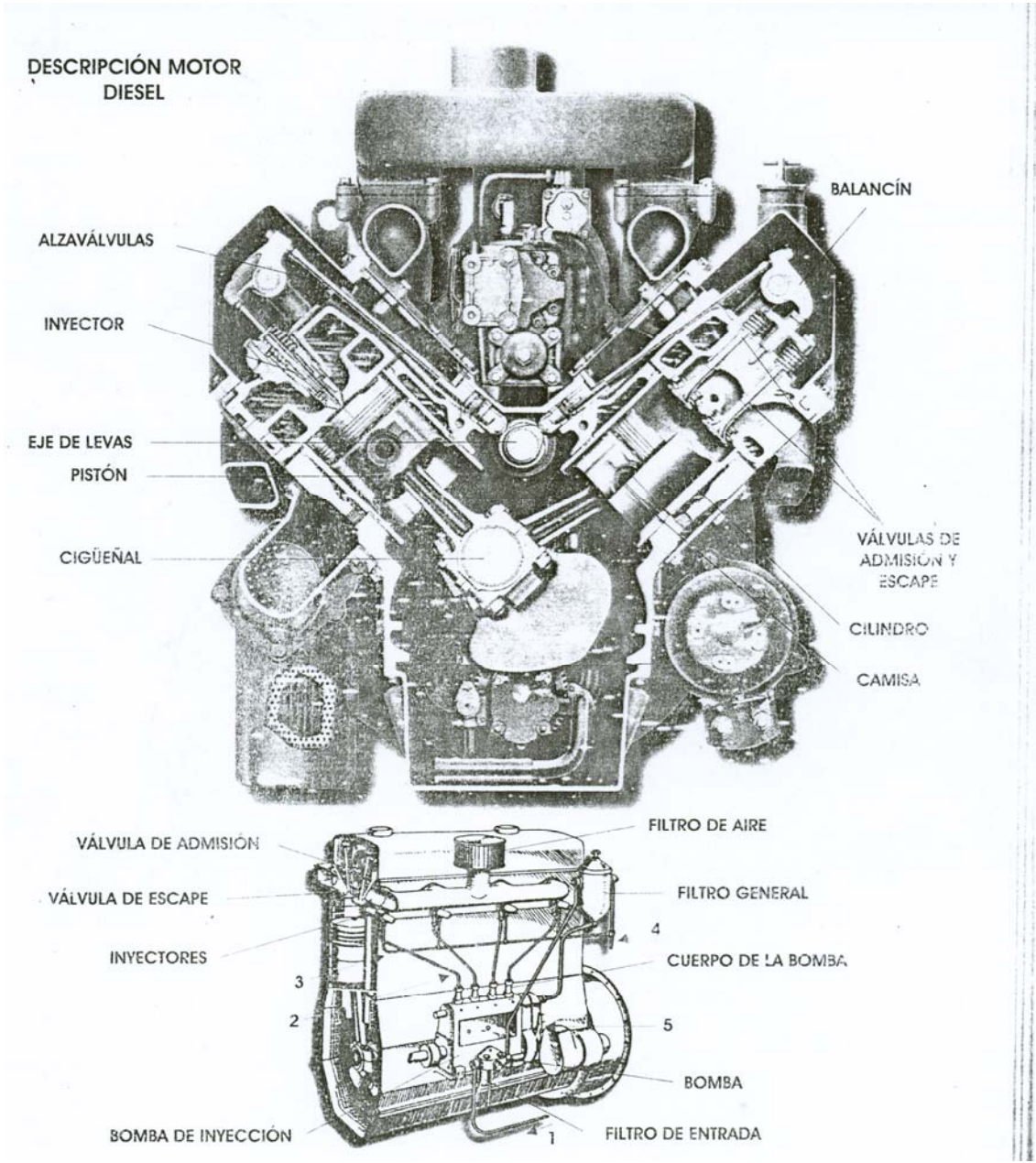
1.2.2 Ciclo de trabajo

El ciclo de trabajo del motor Diesel, es un proceso mecánico que se realiza en cuatro desplazamientos rectilíneos de pistón y dos revoluciones del eje cigüeñal, cada desplazamiento o carrera, se efectúa desde un extremo a otro en el interior del cilindro conocidos con el nombre de punto muerto superior y punto muerto inferior.

Tiempo de admisión

En este tiempo de trabajo se abre la válvula de entrada y al bajar el pistón aspira la cantidad requerida de aire puro de manera que el cilindro quede lleno. El motor trabaja con una cantidad considerable de aire para lograr en el breve período de inyección del combustible la mezcla adecuada que produzca combustión completa con carencia de humos dañinos.

Figura 1. Componentes principales de un motor Diesel



Tiempo de compresión

Al subir el pistón comprime el aire aspirado hasta dejarlo reducido a un volumen de doce a veinticuatro veces menor, por lo anterior, se alcanza un temperatura aproximada de seiscientos grados centígrados, que permite la autoinflamación a una presión entre treinta y seis a cuarenta y cinco kilogramos por centímetro cuadrado.

Tiempo de combustión

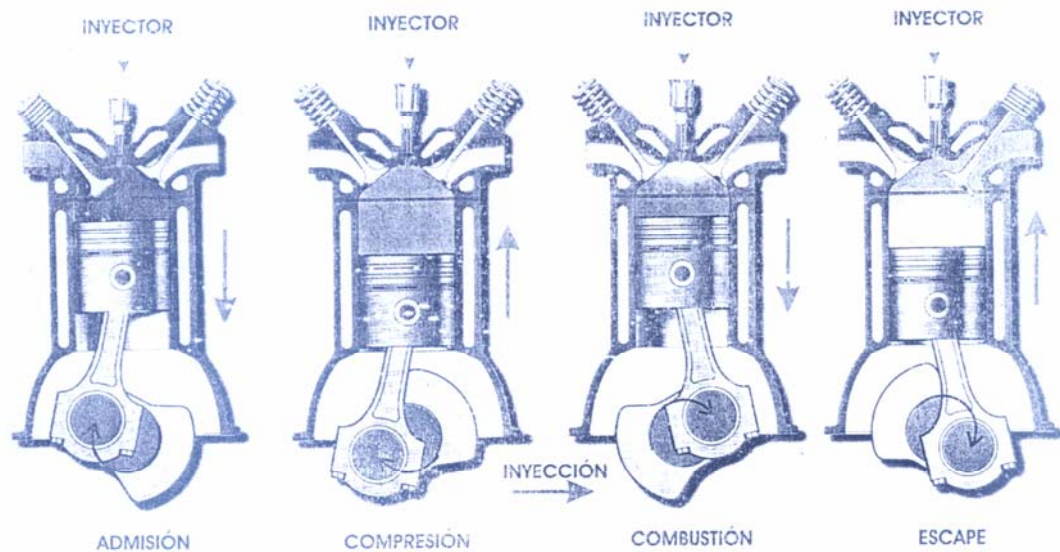
Al presionar el pedal de acelerador penetra en el inyector una pequeña cantidad de combustible que luego, se inyecta de manera controlada a la cámara de combustión, debido a la gran presión a que entra y la forma del inyector el combustible se pulveriza, las primeras partículas que hacen contacto con el aire a temperatura elevada, se vaporizan e inflaman sin necesidad de la chispa de una bujía, después el fuego, se expande y la combustión continúa a medida que se realiza la inyección.

Tiempo de escape

Este tiempo se realiza cuando la válvula de escape se abre y a través del movimiento ascendente que hace el pistón luego de la combustión, son expulsados a exterior los gases resultantes de la misma.

Los tiempos de admisión, compresión, combustión y escape de un motor Diesel, se pueden observar en la figura 2.

Figura 2. **Ciclo de trabajo del motor Diesel**



1.2.3 Sistema de enfriamiento

Los diferentes componentes del motor, al efectuar el trabajo correspondiente generan temperaturas de diferentes valores que pueden ser aceptables y no permitidos en la estructura del mismo por esto es indispensable eliminar o evacuar cierta cantidad de calor producido por el funcionamiento total de la unidad de combustión interna de forma rápida, eficaz y controlada para mantener el rango de temperatura que especifica el fabricante y el requerido por las situaciones de trabajo en condiciones de carga nominal y real.

Para cumplir con las necesidades de temperatura requerida, se recurre al empleo de un medio o fluido que atrape y desaloje el calor existente, el que debe circular en el interior de algunas piezas y alrededor de otras, el medio de enfriamiento utilizado es forzado por un conjunto de dispositivos mecánicos que a la vez ejercen control sobre la cantidad de flujo al permitir o bloquear el paso del mismo.

Es importante evacuar estrictamente el calor necesario para un correcto funcionamiento del motor, puesto que la calidad de la combustión, el correcto efecto de lubricación y antidesgaste de las piezas, se consigue a determinadas temperaturas, es decir que del diseño y trabajo adecuado del sistema de refrigeración empleado, depende el rendimiento y durabilidad de motor.

La transmisión del calor, desde la parte central de la cámara de combustión, se produce por convección en un primer momento y luego por conducción a través del medio de enfriamiento utilizado por el sistema que puede ser líquido a gaseoso.

1.2.3.1 Elementos del sistema de enfriamiento

El sistema que debe garantizar el gradiente de temperatura apropiado para las condiciones óptimas de funcionamiento, está formado por áreas o conductos propios del motor y elementos instalados externamente los que tienen características particulares y realizan funciones específicas.

1.2.3.1.1 Cámaras de refrigeración

Representan las partes vacías de la culata y del bloque que se diseñan para refrigerar las mismas, están maquinados de manera que no existan puntos o zonas calientes durante la circulación del fluido. También, se incluyen las áreas que rodean los cilindros, la cámara de combustión, asientos y guías de válvulas e inyectores y los espacios que entran en contacto directo con los gases de escape. Por el tipo de cilindros utilizados y la disposición de los mismos en el bloque, se pueden mencionar tres clases de camisas.

Bloque de camisas secas

En estas el agua de refrigeración no entra en contacto directo con las paredes del cilindro por donde se desliza el pistón, las camisas las constituyen unos forros introducidos a presión en el cilindro principal fundido alrededor del cual circula el fluido refrigerante. Presenta ventajas de economía, reparación, de calidad de materiales y no sufre pérdidas de líquidos.

Bloque de camisas húmedas

En esta disposición, el refrigerante circula alrededor del cilindro, pero es recambiable, es decir, tampoco forma parte integrante del bloque. Al igual que la clase anterior ofrece mayor calidad de la camisa, facilidad y economía de reparación pero puede ocasionar problemas de estanqueidad.

Bloque de cilindros integrales

Los cilindros están practicados en el propio bloque el agua de refrigeración circula alrededor de estos por las oquedades dispuestas durante la fundición, es el sistema más sencillo aunque resulta de complicada fabricación y obliga al rectificado de cilindros en caso de desgaste, hecho que se produce con mayor celeridad, por la dificultad que representa el tratamiento térmico del cilindro.

1.2.3.1.2 Radiador

Este elemento del sistema, es el encargado de disipar el calor recuperado al contacto con los cilindros y las cámaras de refrigeración por medio del líquido refrigerante, la disipación se produce al transmitir por convección a las paredes metálicas de los conductos del radiador, el radiador efectúa bien las funciones, al considerar el buen estado y trabajo de sus componentes.

Tapón de llenado

Se usa para llenar el depósito, rehacer el nivel del fluido, mantienen presurizado el sistema de enfriamiento, evita evaporación del agua, el tapón tiene válvulas incorporadas que impide la formación de vacío cuando se enfría el fluido, además evita el escape de vapor al alcanzar el circuito una determinada presión.

Conductos

El fluido caliente procedente del bloque y la parte superior de la culata ingresa al radiador por el conducto de entrada, el fluido refrigerado es devuelto al motor por medio del conducto de salida y el orificio de desagüe permite el paso del líquido del radiador al recipiente expansor cuando este aumenta el volumen por efecto de temperatura.

Superficie refrigerante

Consiste en unos conductos que permiten el paso del líquido y unos elementos laminares por donde la circulación del aire atrapa el calor, la eficacia de esta superficie depende de las dimensiones, el diseño y el coeficiente de transmisión del material constructivo.

Recipientes del líquido

Son espacios ubicados en ambos lados del radiador cuando el flujo del líquido es transversal u horizontal y están colocados en la parte superior e inferior, si el flujo es vertical los recipientes, se unen por una serie de tubos posicionados acorde el diseño del radiador.

1.2.3.1.3 Ventilador

Se utiliza para activar y asegurar la circulación de una gran cantidad de aire a través del radiador con la finalidad principal de enfriar el líquido refrigerante, a la vez favorecer el enfriamiento del motor y de piezas instaladas cerca del mismo.

Los ventiladores de arrastre permanente montados por lo general detrás del radiador, accionado por faja y juego de poleas ofrecen buenos resultados pero debe considerarse pasar el mayor caudal de aire posible por el radiador con la menor absorción de potencia posible.

1.2.3.1.4 Bomba de agua

En la mayoría de los casos, se utiliza bomba del tipo centrífugo, que proporciona un elevado caudal con una débil presión de impulsión, el movimiento para el accionamiento proviene de una faja del eje cigüeñal que a sus vez mueve un eje que tiene montada en el extremo una turbina o rodete que gira en el interior del cuerpo de la bomba. Por efecto de fuerza centrífuga, el líquido que llega a la turbina en la parte central, es enviada a la periférica de la rueda y conducida a la salida, creándose a su vez una depresión en el centro.

La disposición de los alabes de la turbina, la orientación y las dimensiones, determinan las necesidades de refrigeración del sistema, cuando el alabe, se inclina hacia atrás en el sentido de rotación la presión obtenida en el circuito es baja, si la colocación es contraria, la presión creada es mayor.

La bomba centrífuga permite la circulación del líquido por el interior del motor aun después de detenerse por efecto de termosifón, esto evita la aparición de elevadas temperaturas en las zonas mas calientes porque la refrigeración continúa hasta que se establezca el equilibrio de temperaturas.

1.2.3.1.5 Termostato

Es una válvula que permite e impide el paso del líquido hacia el radiador en función si la temperatura alcanzada este por encima o debajo de la regulada en el dispositivo, existe una derivación que admite la circulación del líquido a través del motor cuando el termostato está cerrado. No solamente interesa mantener un gradiente mínimo de temperatura en el bloque, sino que el caudal de agua debe regularlo de manera que los cilindros no sufran desgaste a causa de la corrosión desarrollada a bajas temperaturas, se conocen dos tipos de termostatos.

Termostato de fuelle

Está formado por soporte metálico que aloja un fuelle circular de latón relleno de un elemento volátil y con un alto coeficiente de dilatación como puede ser eter, alcohol o parafina. El contacto del agua caliente con el fuelle, hace que el elemento interno se volatilice, aumente de volumen y hace expandirlo, esto provoca la apertura de la válvula y el paso del líquido a través de la misma.

Termostato de capsula

La capsula sustituye al resorte y una mezcla de cera de petróleo más polvo de cuero se comportan como elemento volátil, el agua caliente al estar en contacto con la cápsula hace que la cera se dilate en consecuencia obliga la apertura de la válvula y la circulación del líquido cuando la temperatura desciende por la acción combinada de la contracción de la cera más la acción del resorte, la válvula permanece cerrada y empieza de nuevo el aumento del calor del líquido hasta lograr la temperatura óptima de funcionamiento del motor.

1.2.3.1.6 líquido de refrigeración

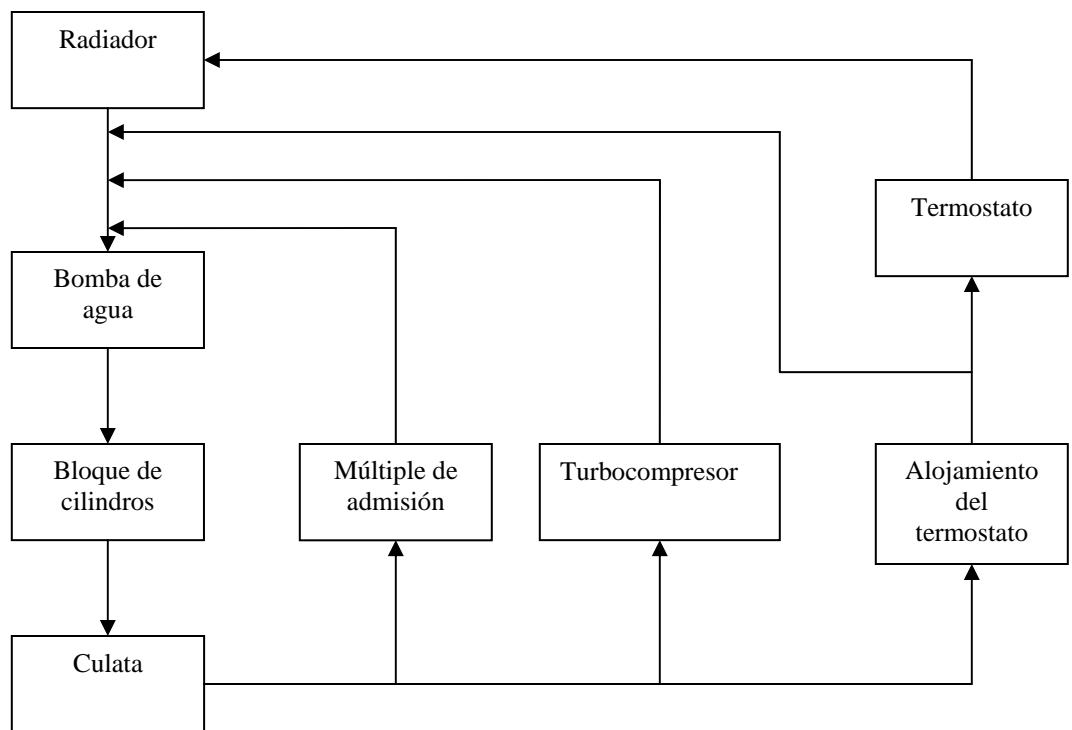
Es una composición a base de agua con aditivos que ayudan a refrigerar, evitan la presencia de corrosión y congelamiento, una mezcla permanente para los circuitos actuales además de evacuar el calor del motor, debe cumplir con las condiciones siguientes:

- Soportar las más bajas temperaturas sin llegar a congelarse cualquiera que sean las condiciones climáticas.
- No favorecer la herrumbre, ni corroer los diversos materiales instalados en el circuito.
- Aguantar elevadas temperaturas de trabajo, sin que la mezcla llegue a descomponerse, ni favorecer la formación de depósitos calcáreos.
- Ser un buen conductor de calor y resistir la formación de espuma.
- Mantener o elevar el punto de ebullición del agua y lograr una mezcla no demasiado expansible.

1.2.3.2 Funcionamiento

En el sistema interesa conseguir cuanto antes la temperatura normal de funcionamiento del motor para optimizar el rendimiento, evitar los desgastes excesivos a bajas temperaturas también no sobrepasar valores críticos que pueden ocasionar deformaciones en las piezas y producir defectos en la lubricación. El funcionamiento del sistema, se visualiza de forma concreta en la figura 3.

Figura 3. **Circuito de enfriamiento**



1.2.4 **Versatilidad**

El motor Diesel tiene componentes, piezas que pueden adquirirse rápidamente con las especificaciones técnicas de precisión, instalación, ajustes, operación, materiales de construcción o indicaciones para algunas revisiones periódicas, la información proporcionada, es importante para realizar cambio de repuestos o hacer verificaciones puntuales de operación.

El funcionamiento del motor se adapta de manera correcta a diferentes ambientes de trabajo al considerar siempre las recomendaciones de cada fabricante. Hay diversidad de actividades que requieren el empleo de un motor Diesel debido a la facilidad de adaptación, control de rendimiento característica de torque, accesibilidad en el proceso de combustión, costos de operación.

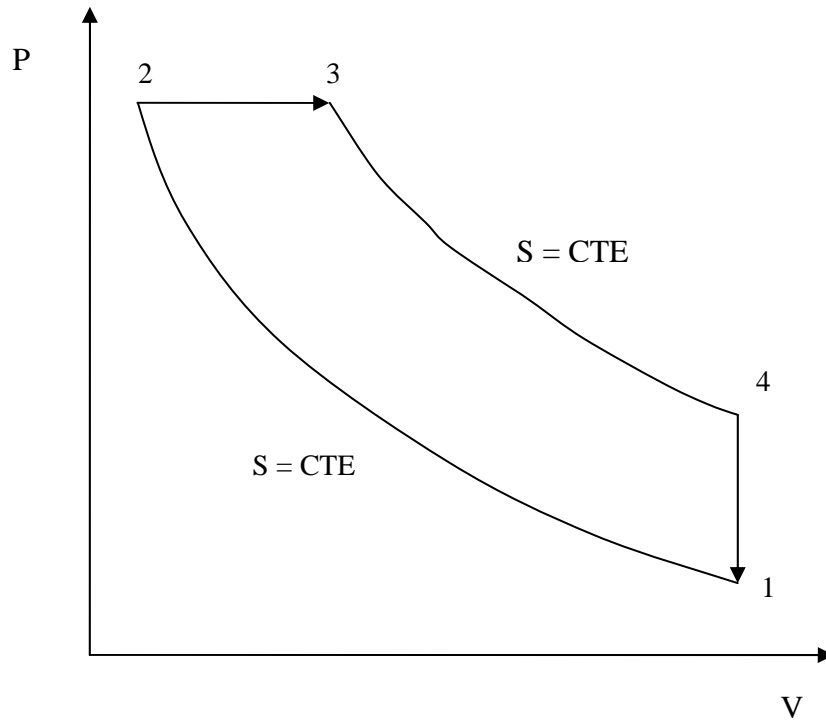
En relación a las diferentes capacidades de potencia disponibles, la aplicación del motor, se puede encontrar en transporte terrestre, marítimo, maquinaria de construcción, agrícola, equipo de carga, descarga, accionamiento de generadores eléctricos.

1.2.5 Ciclo termodinámico

Es una serie de eventos en donde la cantidad más grande posible de energía aun nivel elevado, se convierte en trabajo útil y el resto de la misma se vierte, disipa o evacua a través del funcionamiento del sistema, para esto es conveniente considerar al aire como medio ideal de trabajo con calor específico constante, procesos presentes reversibles, se eliminan como consecuencia todos los aspectos producidos por rozamientos y cualquier proceso puede ser adiabático o isotérmico.

El ciclo diesel teórico se desarrolla a través de los procesos, compresión isoentrópica, adición de energía a presión constante, expansión isoentrópica y expulsión de energía a volumen constante, estos procesos se presentan en la figura 4.

Figura 4. **Ciclo Diesel teórico**



P = Presión

V = Volumen

S = Entropía

CTE = Constante

1 a 2 Compresión isoentrópica

2 a 3 Adición de energía a presión constante

3 a 4 Expansión isoentrópica

4 a 1 Expulsión de energía a volumen constante

2. DETERMINACIÓN DE FACTORES QUE AFECTAN EL FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

Entre las aplicaciones importantes del motor Diesel en nuestro medio, es la utilización como máquina motriz estacionaria acoplada a un generador para obtener energía eléctrica que puede ser destinada para uso general acostumbrado o usarse para un objetivo principal en lugares donde no existe red de distribución de energía.

En este caso en particular, consiste en un motor instalado a un generador para cumplir con diversas actividades en una industria explotadora de petróleo, entre los datos técnicos correspondientes se mencionan.

2.1 Condiciones de trabajo

En la operación correcta del motor es necesario considerar el control, características y cualidades de los factores internos propios de los sistemas como de las condiciones externas bajo las cuales, se desarrolla el funcionamiento del mismo. Es de interés considerar factores como altitud, fuentes de calor, calidad y cantidad de la circulación de aire para determinar los puntos específicos que deben ajustarse, calibrar o compensar en los elementos integrales de los componentes o sistemas, de lo contrario estos pueden convertirse en aspectos críticos que afectan durante el motor trabaje.

2.1.1 Altitud

La altura sobre el nivel del mar afecta en especial al valor de la temperatura, la presión atmosférica y en consecuencia influye de forma directa al punto de ebullición del agua, que es el medio utilizado en el sistema de enfriamiento, esto conlleva a establecer el valor de la temperatura a la que hierve el agua con relación a la altura de trabajo, además es indispensable determinar cuanto se debe prolongar el valor de ebullición para que el agua de refrigeración funcione de forma correcta, lo anterior se hace a través de la selección precisa de aditivos según las características técnicas que estos ofrecen y que garantizan el punto estimado de ebullición.

A medida que aumenta la altitud, se reduce la densidad del aire, por lo tanto, disminuye la velocidad de transferencia térmica de este y como consecuencia se experimenta un aumento en la temperatura del medio de refrigeración utilizado en el sistema. Cuando el aire se vuelve más enrarecido, entra menor masa del mismo al cilindro aunque el volumen permanezca constante esto afecta para quemar por completo la carga de combustible, la densidad del aire disminuye a razón de tres por ciento por cada 300 metros.

2.1.2 Fuentes de calor

Durante el funcionamiento del motor, se presenta la generación de calor, que es controlado a través del sistema de enfriamiento, pero pueden existir otras áreas generadoras de calor aledañas al lugar de trabajo o muy cercanas al mismo, que afectan el desenvolvimiento esperado, cuando se incrementa la temperatura del ambiente el aire que se utiliza tiende a cambiar de densidad, esta disminuye a razón de uno por ciento por cada 5.6 °C de aumento, esto representa ausencia de oxígeno elemento que interviene de forma directa en la mezcla y en el proceso de combustión.

Por lo anterior es indispensable, que el área designada para la instalación del motor no sea afectada por fuentes de calor constante que produzcan temperaturas elevadas, porque además causan inconvenientes en el sistema de enfriamiento debido a que no circula por el radiador y en otras piezas el aire a temperatura normal sino un flujo caliente de mismo que impide la transferencia correcta del calor del agua al medio ambiente.

2.2 Tipo de combustible

Un aspecto muy importante a considerar es el retardo del encendido en la combustión que resulta estar influenciado por la relación de compresión adoptado, que a su vez se encuentra bastante ligada a la clase y calidad del combustible a usar. El motor Diesel emplea el gasoil que es un producto más denso que la gasolina y posee un poder calorífico mayor para el mismo volumen, el grado detonante o autoinflamación de este combustible, se mide por el número de cetano, entre más corto sea el intervalo en el momento en que se inyecta el gasoil y empieza a quemarse, más alto es el número de cetano.

2.2.1 Selección

Al seleccionar el aceite diesel, más adecuado para determinado motor, es necesario tomar en consideración la potencia calorífica, costo, disponibilidad del combustible, niveles de aplicación de carga, revoluciones del motor, frecuencia de los cambios de carga y condiciones atmosféricas de operación.

La potencia obtenida de un combustible diesel, es determinada por el poder calorífico que está en relación directa a su peso por unidad de volumen, al medir la densidad API del combustible con un hidrómetro apropiado puede compararse el rendimiento del motor con la potencia especificada por el fabricante.

Al usar un combustible con una densidad API mayor a la de referencia, el rendimiento del motor, es menor que el indicado, debido a que hay menor potencia calorífica por unidad de volumen.

2.2.2 Propósitos del combustible

Es importante el conocimiento de las propiedades del combustible y los efectos que estas pueden tener en caso de incumplimiento con las especificaciones de calidad requeridas para su utilización, el uso del aceite diesel cumple con dos funciones primordiales que son:

1. Proporcionar la energía para todo el trabajo que hace el motor.
2. Debe de poseer buenas cualidades de lubricación para el sistema de alimentación de combustible inyector y bomba.

Cuando el combustible no cuenta con las cualidades de lubricación, los componentes de la bomba de inyección resultan dañados, debido a que está fabricada con mucha exactitud y con ajustes precisos para proveer calibración correcta e inyección del combustible.

2.2.3 Características del combustible

Son propiedades que definen o determinan la calidad de un combustible en relación directa en el funcionamiento y rendimiento del motor.

Viscosidad

En términos comunes, representa una medida de la resistencia que opone un líquido a fluir, una viscosidad alta origina problemas en la bomba, puede tapar inyectores y presentar sobrecarga de presión en todo el sistema de inyección, también determina la forma de la pulverización de los inyectores debido a que una mayor viscosidad causa atomización pobre en caso contrario el combustible presenta debilidad al atomizarse y deficiente capacidad para lubricar. El valor para el gasoil oscila entre 1.9 y 4.1 mm²/seg. a temperatura de 40 °C.

Punto de opacidad o turbidez

Es la temperatura en que aparece una nebulosidad por cristalización de la parafina, esto origina obstrucción en los filtros y produce interrupción del flujo normal de combustible, el punto de opacidad debe encontrarse por lo menos 6 °C por debajo de la temperatura mínima de empleo, es determinado por el refinador y varía con la época del año o las condiciones atmosféricas.

Punto de fluidez

Está determinado por el refinador y depende de forma general del contenido de parafinas, se considera a un valor de 3 °C. por encima de la temperatura que deja de fluir o se solidifica el combustible, pero también el punto de fluidez, se puede especificar entre 10 y 15 °C. por debajo del punto de turbidez.

Número de cetano

Es el índice usual de la calidad de encendido del combustible, cuanto más alto es el número de cetano menor es el retardo de ignición, tiende a disminuir la combustión ruidosa, permite el control de la misma, proporciona un incremento en la eficiencia, arranque más fácil calentamiento rápido y reduce la producción de humo.

El porcentaje requerido de cetano en un combustible, depende del tipo de motor, tamaño, exigencias de carga, velocidad, de las condiciones atmosféricas y de encendido, para lugares tropicales, se recomienda utilizar un combustible que contenga un número de cetano entre 40 y 50.

Punto de inflamabilidad

Se especifica para cumplir con requisitos de seguridad en el manejo, utilización y almacenamiento, el punto de inflamabilidad indica la temperatura a la cual se desprenden del combustible vapores inflamables, que en algunos casos es un índice de riesgo de incendio, el valor de temperatura de evaporización del gasoil es de 180 °C.

2.2.4 Clasificación del combustible

Como la aplicación del motor Diesel, comprende varias áreas de trabajo, también es necesario disponer de combustibles apropiados para cumplir con cada una de las características funcionales como exigencias de carga y de esta manera obtener el funcionamiento óptimo.

Combustible grado 1 – D

Es un aceite combustible volátil, se emplea en motores de alta velocidad sujeto a cambios de carga no frecuentes, se recomienda usarlo en lugares donde las condiciones atmosféricas son muy bajas, posee un número de cetano mínima de 45.

Combustible grado 2 – D

Comprende a los aceites combustibles de menor volatilidad que el grado anterior, se recomienda para motores de media velocidad como los usados en instalaciones industriales, está sujeto a condiciones de servicio donde se presentan velocidades moderadas y altos valores de carga, el valor correspondiente de índice de cetano es de 45 mínimo.

Combustible grado 4 – D

Es un combustible más viscoso, se usa en motores con baja velocidad, cuyo servicio involucra cargas muy pesadas y constantes, por ejemplo, es utilizado en grandes motores estacionarios y en máquinas marinas pesadas, el índice de cetano mínimo especificado para esta clase de combustible es de 30.

2.2.5 Contaminantes

El Combustible cuando sale de la refinería, es libre de impurezas como sólidos en suspensión y agua, pero en los sucesivos manipuleos en diversos tipos de contenedores que por lo habitual pasan días bajos los rayos del sol y expuestos a bajas temperaturas nocturnas, se producen condensaciones acuosas, evaporaciones y contaminación con tierra.

Agua

El agua puede contaminar el combustible durante los embarques o por condensación propia debido a las malas practicas de almacenamiento, como es más densa que el gasoil origina problemas de excesiva presión en la bomba inyectora donde la lubricación, se realiza por el combustible, además puede contribuir al bloque de filtros y causan corrosión en el sistema de inyección.

Es posible eliminar los efectos de la contaminación con agua al efectuar actividades como drenar regularmente el tanque de almacenamiento, utiliza separadores de agua, obtener el combustible de un proveedor confiable.

Microorganismos

El combustible, se descompone tanto por oxidación natural, por efecto de la acción de organismos vivientes como hongos, bacterias que viven en el agua y se alimentan del combustible, las colonias de microorganismos, son gelatinosas y pueden originar el taponamiento de unidades filtrantes.

Sedimentos

Consisten en herrumbre, escamas, escoria, tierra, óxidos, precipitados orgánicos y otros elementos que pueden llegar al combustible una vez salido de la refinería. Sedimentos muy pequeños pueden pasar a través del filtro y ocasionar desgaste en las partes móviles del sistema. Debido a esto, es importante remover los sedimentos antes de que el combustible ingrese al motor, la mayoría puede eliminarse por filtrado, las partículas más pequeñas son tratadas por sedimentación y separación, a medida que aumenta la densidad del combustible, mayor es el período de tratamiento.

2.2.6 Corrosión por azufre

El azufre es un elemento que se encuentra presente en los crudos derivados del petróleo, los combustibles pesados poseen un alto contenido de azufre mientras que los destilados tienen menor proporción, el fabricante del motor debe especificar las cantidades máximas permisibles para el control adecuado del combustible.

El azufre forma óxidos que, se combinan con el vapor de agua en la cámara de combustión y forma ácido sulfúrico que es corrosivo cuando se condensa entre 80 y 88 oC. este ácido ataca las superficies metálicas de guías de válvulas, camisas de cilindros y cojinetes. El desgaste de camisas puede aumentar diez veces si la temperatura de trabajo es menor a la antes mencionada y el aceite de lubricación no tiene la alcalinidad necesaria para neutralizar al ácido. El proceso de refinamiento puede reducir la cantidad de azufre presente en el combustible y para evitar serios daños a los componentes del motor, se debe aceptar un máximo de 0.5 por ciento de este elemento en una muestra de combustible.

2.3 Dosificación de carga

Es necesario considerar aspectos como: especificaciones de capacidad, procedimiento de operación, intervalos de carga y parámetros de funcionamiento para proporcionar la cantidad correcta de carga a un motor Diesel sin importar el tipo de trabajo que tenga aplicado. En caso que el acoplamiento sea a un generador eléctrico debe arrancarse y esperar que se alcancen los parámetros de operación, además como el acoplamiento mecánico es directo y permanente, es importante tomar en cuenta que el generador no esté aplicado, es decir en posición de intransferencia y observar en el tablero de indicación los valores de voltaje, amperaje y frecuencia producidos por la unidad motor generador en condiciones de vacío.

2.3.1 Procedimiento

La aplicación de la carga debe ser dosificada de acuerdo a los diferentes equipos y componentes eléctricos auxiliares que son accionados o puestos en funcionamiento y al tipo de distribución de áreas diseñadas en el lugar de transferencia, como en el caso actual no se dispone de alimentación de energía eléctrica por una red de distribución solo hay que considerar precauciones de dosificación y proceso de transferencia para alimentar las áreas de trabajo asignadas.

2.3.1.1 Arranque y dosificación inicial

Hay que proteger tanto al motor Diesel estacionario como a la unidad generadora, de posibles daños tanto mecánicos como eléctricos que pueden producirse en el momento de arranque y en el tiempo de operación.

Para lograr lo anterior, se procede a aplicar al inicio entre un rango de cuarenta y cincuenta por ciento del total de la carga disponible, esto conlleva a la disminución o inexistencia de esfuerzos excesivos y bruscos que pueden ser fuente de fallas en los diferentes componentes y elementos auxiliares de equipo o sistemas integrantes.

2.3.1.2 Dosificación complementaria

Efectuada la etapa inicial, se procede a realizar la actividad que consiste en un aumento de la carga hasta alcanzar de setenta a ochenta por ciento del valor disponible, luego hacer la última dosificación para obtener una carga plena a noventa por ciento.

Se mantiene un rango de diez por ciento con el objetivo de cubrir en cualquier momento situaciones riesgosas a las condiciones de funcionamiento y no trabajar al límite. Este parámetro de seguridad tiene la finalidad de absorber cualquier pico de sobrecarga que se originen de elementos mecánicos y eléctricos del equipo que es accionado por el generador.

2.3.1.3 Verificación de parámetros

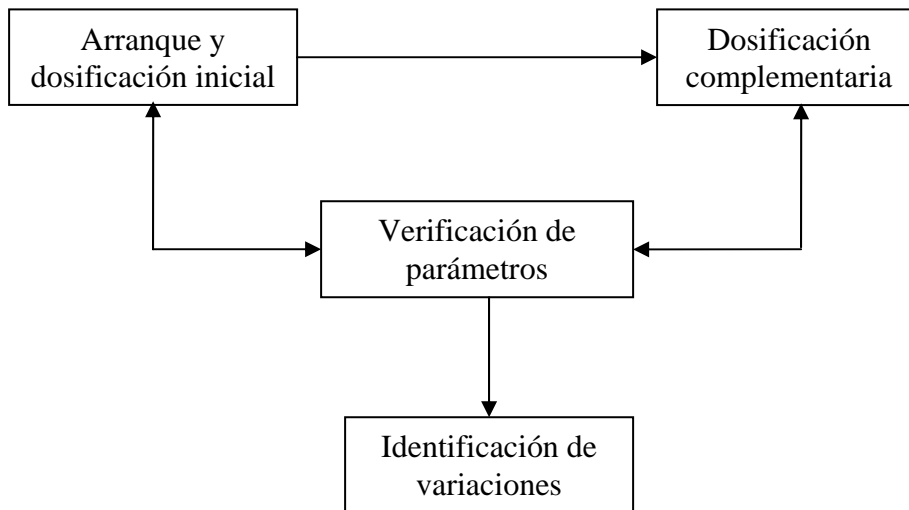
Cuando se efectúa el funcionamiento de la unidad motora, además de cumplir con las etapas de dosificación establecidas, se debe realizar en cada una de estas, la visualización de valores de temperatura, revoluciones del motor como datos de voltaje, amperaje y frecuencia del generador, esto se hace para comparar los valores obtenidos durante la operación contra los especificados o estándares establecidos.

Además en este proceso se tiene que efectuar en un intervalo de cada dos horas de trabajo, el registro de los diferentes datos que se producen durante la operación del equipo.

2.3.2 Identificación de variaciones

Los registros obtenidos de los diferentes parámetros en la etapa anterior pueden representar variaciones repentinas o progresivas, cada una indica distinta causa posible de operación incorrecta. Cuando se observan datos fuera de rango pero repentinos y alejados en gran escala del punto de referencia la acción para la corrección del problema es inmediata, al encontrar variaciones graduales o cíclicas, se dispone de más tiempo en el análisis, siempre con el propósito de identificar con exactitud el lugar y causa real, para aplicar las acciones preventivas, correctivas, sin intervenir de forma directa en la operación de la máquina. Un esquema simple que incluye los pasos para aplicar carga, se presenta en el figura 5.

Figura 5. Esquema para dosificación de carga



2.4 Nivel de vibración

Cualquier máquina o equipo en funcionamiento tiende a presentar vibración, la forma en que vibran depende del tipo de instalación, ajustes, calibraciones inadecuadas, operación incorrecta; una vibración excesiva significa que existen problemas que deben corregirse por lo que la consecuencia son movimientos no deseados que incrementan conforme la máquina opere y por ende aparece la avería de los componentes de la misma.

2.4.1 Definición

Vibración, son oscilaciones como respuesta de un sistema mecánico rotativo a un nivel de excitación armónico originada por una fuente de perturbación interna o externa al mismo, con características de cambio de dirección en el espacio y de magnitud. Además puede definirse como un movimiento pulsante que obliga a la máquina o partes de esta a moverse de su posición original de reposo y puede representarse por la fórmula.

$$\text{Vibración} = (\text{Fuerza dinámica} / \text{Resistencia dinámica})$$

Lo anterior indica que la amplitud de la vibración varía en forma proporcional al cociente de la fuerza dinámica entre la resistencia dinámica, una máquina con vibración aceptable puede tener un nivel alto, si la estructura de soporte o cimiento es insuficiente.

2.4.2 Propiedades de vibración

El análisis de vibración determina y reconoce la forma en que las fuerzas fluctuantes de perturbación, se generan identifican e interpretan, también son proporcionados los procedimientos a emplear para medir y especificar las características de vibración.

Amplitud

Es la distancia total por una masa que está en oscilación alrededor de la posición de equilibrio, especifica que tanto se mueve y con que severidad lo hace a partir del punto neutral.

Frecuencia

Se refiere a la cantidad de ciclos o el número de eventos que se repiten en la unidad de tiempo, la frecuencia está expresada en unidades de ciclos por minuto (cpm) o ciclos por segundo (cps) conocida también como Hertz. Está relacionada de manera directa con el período que es la cantidad de tiempo que toma un movimiento en realizar un ciclo completo.

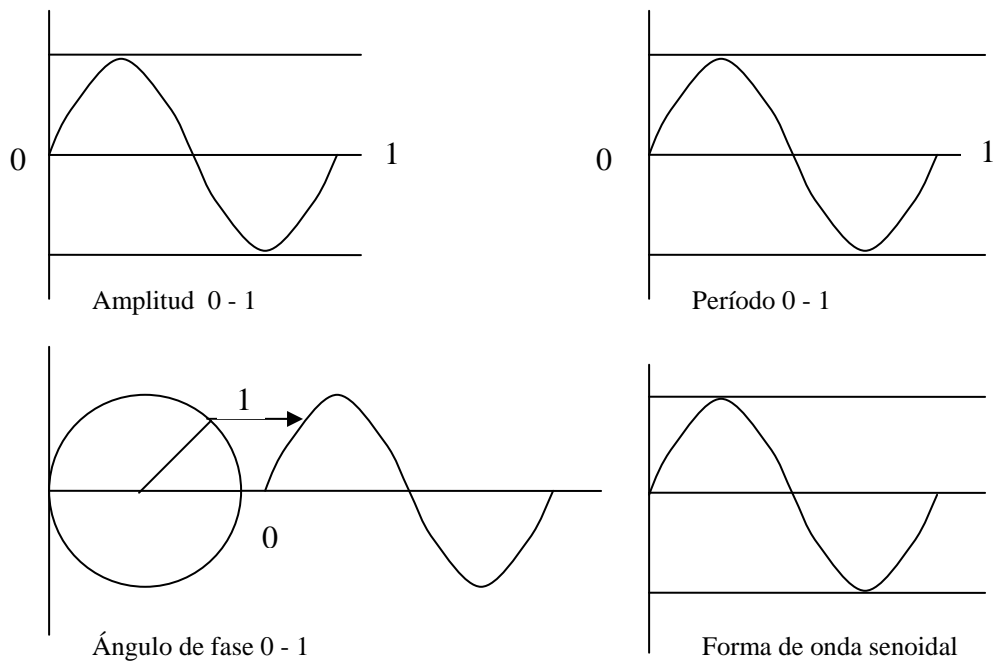
Ángulo de fase

Este, es la fracción de período que tiene magnitud como avance o retraso a partir del origen de la variable independiente o punto de referencia, es decir la medición en grados en un rango de 0 – 360, de la relación en tiempo entre dos eventos o señales, una señal de vibración respecto a un evento de revolución.

Forma de onda

Es una presentación o despliegue de una amplitud instantánea correspondiente en función del tiempo, es el medio para representar los datos de vibración y permite comprender el comportamiento de los elementos de la máquina. Las ondas senoidales y cosenoidales, se utilizan para describir oscilaciones puras de sistemas mecánicos, ambas son idénticas excepto que están desplazadas noventa grados y se utilizan para describir un movimiento periódico, las propiedades de vibración, se pueden visualizar en las figura 6.

Ejemplo 6. Propiedades de vibración



2.4.3 Tipos de vibración

El movimiento oscilatorio puede repetirse así mismo de forma regular o tener una considerable irregularidad como un movimiento sísmico, el tipo de vibración depende siempre de la clase de fuerzas no estables de excitación o perturbadoras que intervienen en los elementos de la máquina.

2.3.1.1 Vibración armónica

Equivale a la proyección del movimiento circular uniforme de un punto sobre un diámetro de la circunferencia de un eje, es también denominada vibración senoidal y tiene única frecuencia puede ser originada por el desbalance de un eje en rotación, es descrita o caracterizada por las propiedades antes mencionadas.

2.4.3.2 Vibración periódica

Este tipo de vibración, se manifiesta en una forma de onda compleja, presenta diferentes frecuencias simultáneas, la característica básica, es que se repite a si misma luego de un intervalo de tiempo específico.

2.4.3.3 Vibración mecánica

Son oscilaciones perceptibles, medibles en la superficie, elementos funcionales, carcasa o cimentación de instalación de la máquina, es también conocido por el ruido estructural que se propaga en cuerpos sólidos en movimiento. A menudo tiende confundirse los tipos de vibración con las fuerzas que pueden actuar como excitador de la misma, como el caso de un desbalance que genera una fuerza centrífuga que causa que el rotor y el eje vibren.

Este tipo de vibración es transmitido por los elementos rodantes, películas de aceite o componentes de transmisión desde el punto de origen a la carcasa, cimentación y soportes de la máquina.

2.4.4 Tipos de sensores

Para obtener el nivel de medición absoluta de vibración, es necesario un elemento convertidor, que transforme la onda de vibración que se genera en el motor a otra forma de señal que puede ser mecánica, eléctrica o electrónica. Estos dispositivos son sensores que reciben o captan un movimiento y lo transmiten a un equipo para el análisis.

Para colocar los sensores, se deben considerar puntos con transferencia estructural de movimiento con preferencia en la parte inferior o debajo del motor que es donde mejor se trasmite la vibración, las características específicas de cada uno de estos dispositivos pueden variar de acuerdo con el fabricante. Por lo general se encuentra tres tipos de elementos para medir vibraciones, sensor de desplazamiento, velocidad y aceleración.

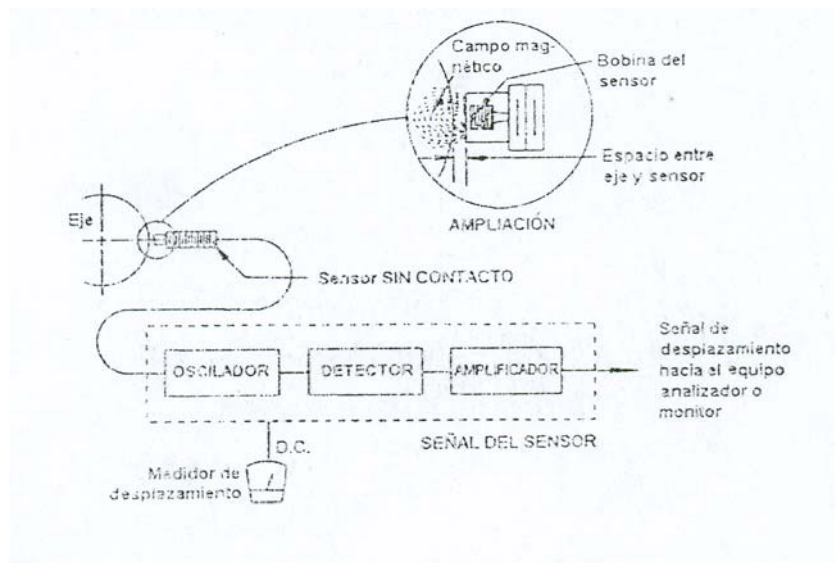
2.4.4.1 Sensor de desplazamiento

Este mide la distancia de la masa que se mueve o se desplaza en un sistema vibratorio e indica la severidad del componente en estudio, es un instrumento de no contacto que establece un campo eléctrico en la vecindad de la parte en movimiento, Este sensor necesita un circuito electrónico externo o interno para generar una señal de corriente de alta frecuencia y detectar las oscilaciones causadas por la vibración del eje.

Corriente alterna de alta frecuencia, es alimentada a una pequeña bobina que se encuentra en la punta del sensor, cercana al eje con esto la bobina genera un campo magnético, la energía obtenida en este, es absorbida de forma parcial por el eje, la cantidad de depende de la cercanía entre ambas piezas, con lo anterior resulta un disminución de la fuerza del campo magnético medido en el oscilador el cual además transforma la corriente alterna en una señal de corriente directa que es proporcional del espacio que existe entre sensor y el eje de la máquina.

La principal aplicación es medir vibraciones relativas, posición axial, radial y expansión de ejes respecto a una carcasa, para su utilización, es indispensable cumplir algunos requisitos como: medir el valor de vibración sin contacto, no ser influidos por aceite, ajuste y calibración especificado. El principio de funcionamiento se puede observar en la figura 7.

Figura 7. **Sensor de desplazamiento**



2.4.4.2 Sensor de velocidad

Mide el movimiento vibratorio por unidad de tiempo, opera de acuerdo al principio electrodinámico, se suspende una bobina, libre de fricción mediante dos resortes o muelles de membrana que forman junto a la bobina un sistema masa resorte. Al estar suspendida en un campo magnético permanente, la tensión que se genere es proporcional a la velocidad de vibración.

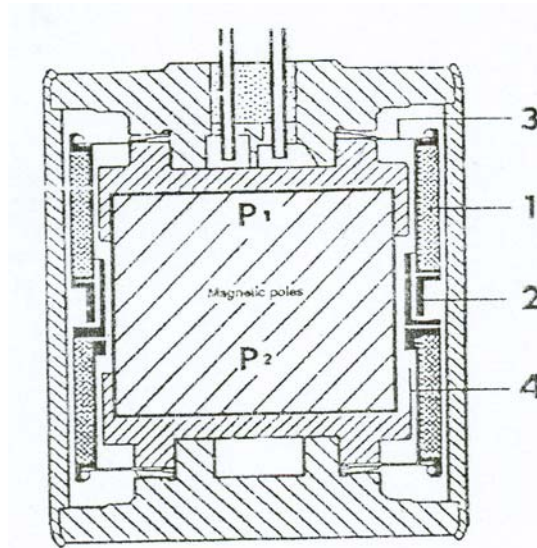
Cuando el sensor es colocado o unido a la máquina en vibración, la bobina permanece estacionaria en el espacio mientras que el magneto vibra al compás de la máquina, el corte del campo magnético que produce la bobina genera una tensión inducida, es proporcional a la velocidad, sin que requiera fuente de alimentación externa, por esta razón es conocido como sensor activo.

La aplicación de este tipo de instrumento, es la medición de vibraciones en máquinas de baja velocidad rotacional debido a su capacidad de elevada sensibilidad a bajas frecuencias, además se utilizan en lugares donde los sensores de aceleración no son recomendables. Un diagrama de esta clase de sensor, se observa en la figura 8.

2.4.4.3 Sensor de aceleración

Este mide la razón de cambio de velocidad de movimiento de un cuerpo que está en efecto vibratorio, cuando un elemento de máquina está en el estado descrito suceden cambios de revestimiento de dirección o sea en oscilación y cambia de manera constante de aceleración.

Figura 8. **Sensor de velocidad**



1. Bobina móvil
2. Bobina
3. Resorte de membrana
4. Imán permanente

En este tipo de sensor, se disponen discos piezoeléctricos cerámicos precargados por una masa sísmica que impone una fuerza alternativa a los discos, origina una carga eléctrica que proporcional a la aceleración de la vibración y se convierte en tensión mediante un amplificador de carga. Tiene ventajas y desventajas con relación a un sensor de velocidad entre estas se mencionan.

Ventajas

- Construcción robusta
- Insensibles a campos magnéticos
- No son unidireccionales

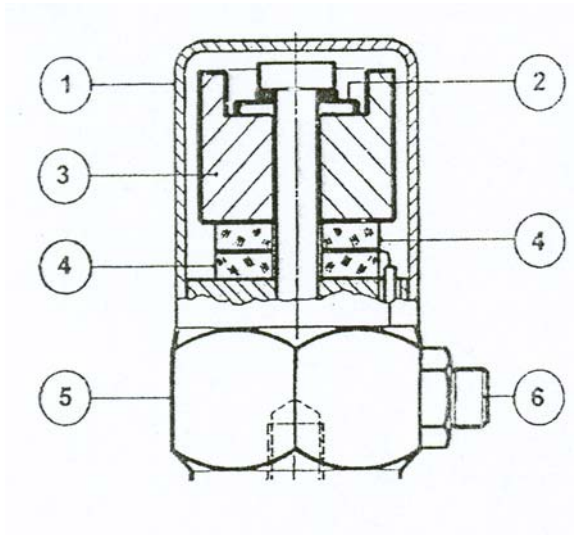
- Reducidas dimensiones
- Carcasa de material inoxidable, sello hermético
- Costo menor
- Amplio rango de frecuencias

Desventajas

- Requiere fuente externa para operar
- Baja sensibilidad a bajas frecuencias

En la figura 9, se puede observar la forma y elementos de un sensor de aceleración.

Figura 9. **Sensor de aceleración**



- | | | | |
|----|--------------|----|-------------------------|
| 1 | Carcasa | 4. | Discos piezo-eléctricos |
| 2. | Resorte | 5. | Base |
| 3. | Masa sísmica | 6. | Conector de salida |

2.4.5 Criterios para seleccionar un sensor

Entre las consideraciones que deben tomarse en cuenta al momento de seleccionar el sensor más adecuado para medir vibraciones están.

Rango de frecuencia

Establece el intervalo donde el sensor posee capacidad de lectura de tal forma que cada instrumento tiene su propio rango. El valor mínimo, es controlado por la sensibilidad del sensor y el máximo por la frecuencia natural del mismo.

Rango de sensibilidad

Es la capacidad del sensor de determinar la amplitud de vibración ya sea desplazamiento, velocidad o aceleración a partir de la señal de voltaje.

Rango de temperatura

Determina la máxima y mínima temperatura a la cual el sensor puede trabajar sin afectar la capacidad de respuesta con datos verídicos, hay que poner atención a este criterio, sobre todo cuando el sensor, es colocado en un tiempo permanente.

Peso

El peso del sensor es importante, por dos razones, primero debe ser ligero para transportarse con facilidad sobre todo cuando ha de realizarse rutina de lecturas y porque tiene que significar una pequeña fracción de peso con relación al componente de la máquina donde se instala, al ser muy pesado puede influir en la lectura de vibración.

Dirección de medición

La mayoría de los sensores toman lecturas de vibración en una sola dirección por esto debe instalarse de forma perpendicular a la superficie en estudio, también existen instrumentos diseñados para obtener mediciones en posición vertical u horizontal.

Interferencia magnética

Aspecto de mucha importancia en especial para sensores de desplazamiento y velocidad porque la operación requiere de campos magnéticos, la existencia de uno ajeno y cercano puede causar señales de lectura erróneas.

Instalación

Existen varias maneras de instalar el sensor sobre el componente o elemento del motor para tomar lecturas de vibración puede ser con adhesivo, magneto por medio de rosca o vástago, cada alternativa tiene un significativo efecto en la habilidad del sensor para medir la vibración, así como obtener similitud en las lecturas posteriores.

2.5 Procedimiento de arranque

Las buenas condiciones de los diferentes componentes del motor, es un requisito primordial, pero también el cumplimiento de instrucciones claras y específicas en el arranque del mismo influye en la obtención de resultados satisfactorios.

Las prácticas inadecuadas de encendido como de operación son causa de posibles problemas mecánicos que repercuten e inciden en el tiempo óptimo de funcionamiento, los efectos que se obtienen significan fallas instantáneas, constantes o progresivas de elementos internos como de equipo auxiliar enrolado en todo el proceso o secuencia de operación.

De forma concisa, se presentan los pasos a considerar en el arranque del motor, que proporcionen el funcionamiento en condiciones específicas y no sobrepasar datos o parámetros establecidos.

1. Realización con certeza del sistema de seguridad de encendido.
2. Verificar en el indicador, la lectura de voltaje del acumulador.
3. Inspección del sistema de enfriamiento.
4. Revisión de niveles de combustible y lubricante.
5. Efectuar señal de encendido a través del interruptor correspondiente.
6. Verificación de la estabilización de revoluciones de motor.
7. Inspección auditiva de ruidos, así como verificación de movimientos anormales en el arranque.
8. Aplicar con, precaución, seguridad y efectividad las diferentes actividades de dosificación de carga.

3. ESTUDIO TÉCNICO DE MOTOR

Los diferentes elementos individuales como los componentes que conforman los diversos sistemas del motor, están diseñados con materiales apropiados que operan a determinados parámetros técnicos que deben cumplirse para mantener las condiciones normales y obtener los resultados especificados.

3.1 Sobrealimentación

La potencia que desarrolla un cilindro por aspiración natural está limitada por la cantidad de oxígeno que entra en el mismo, a través de la sobrealimentación, se logra introducir mayor caudal de aire, quemar mejor el combustible y producir una presión media efectiva más alta.

3.1.1 Componentes

En la producción de sobrealimentación de aire al múltiple de admisión, se utiliza una unidad conocida como turbo compresor que requiere controlar la cantidad suministrada por medio de una válvula reguladora, además debe prestarse atención y cuidado al medio que lubrica los rodamientos para evitar deficiencias en su funcionamiento.

Turbina y compresor

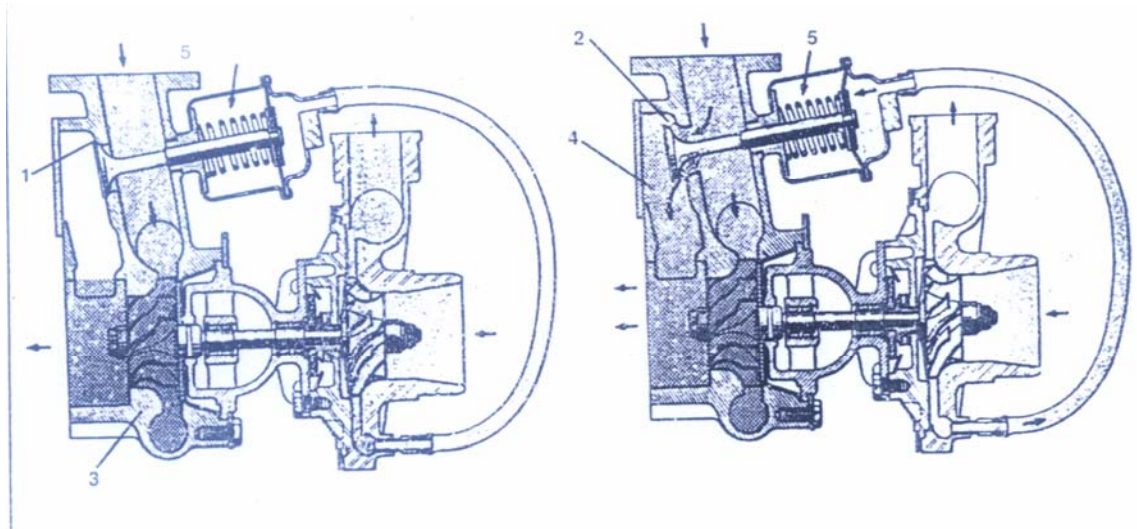
Son elementos mecánicos acoplados entre sí, la turbina tiene colocados los álabes en posiciones correctas para recibir los gases del múltiple de escape y a través de estos originar el movimiento que se transmite por eje común al elemento compresor, este último, se encarga de succionar aire filtrado a presión atmosférica, comprimirlo y enviarlo al múltiple de admisión de forma constante.

Válvula de descarga

Se encarga de impedir, que el valor de sobre presión supere ciertos límites que se consideran perjudiciales para el funcionamiento del motor, está formada por una cápsula sensible a la presión que tienen un resorte, una cámara y un diafragma.

Está colocada en derivación para mandar parte de los gases de escape en forma directa a la salida de la turbina cuando estos sobrepasen la presión establecida, el lado opuesto del diafragma está condicionado por la presión que existe en el conducto de múltiple de admisión, cuando este valor supera el máximo de seguridad fijado, se comprime el resorte y acciona la válvula en el lado de la turbina. Para visualizar los componentes del turbo compresor, se presenta la figura 16.

Figura 10. **Turbo compresor**



1. Válvula cerrada
2. Válvula abierta
3. Turbina de escape
4. Bypass de derivación
5. Válvula de seguridad

3.1.2 Control de presión

Para llevar un control y registros respectivos de la presión del aire generada por el turbo compresor, se procede a colocar en el ducto de la admisión entre múltiple y salida de compresor un adaptador en forma de tee con diámetro 63.5 milímetros rosca hembra de clase cañería para instalar un indicador de presión de iguales dimensiones en el puerto de acoplamiento y con escala de cero a 21 Kg/cm².

3.2 Parámetros de velocidad

Los parámetros indicativos, que son reunidos a través de inspección visual y registros periódicos proporcionan por medio de una interpretación detallada de forma técnica información indispensable para constatar, la operación correcta del motor, analizar las variaciones, aplicar medidas de corrección inmediatas o predeterminadas y evaluar resultados riesgosos.

El motor Diesel en análisis acciona un generador eléctrico de 1 MW. Por esto la evaluación de la máquina motriz, se hace a régimen constante, con el apoyo de instrumentos que registren velocidad en revoluciones por minuto en lugar de un dato de desplazamiento.

El generador por las características eléctricas de diseño, construcción y funcionamiento debe mantener una velocidad estable o permanente para garantizar que la energía trifásica de 480 voltios producida sea a una frecuencia de 60 ciclos por segundo. En el instrumento indicativo de velocidad deben permanecer las revoluciones entre 1,790 y 1,810 rango especificado por el fabricante, esto indica que a carga parcial, total o en vacío el régimen no debe sufrir cambios significativos como tienden a presentarse en un motor utilizado en vehículos de desplazamiento.

Para verificar el régimen del motor registrado en el indicador, se realizan varias lecturas a través de un tacómetro, en condiciones de carga total y en vacío, esto se hace durante diez días, al inicio de la jornada de trabajo. Los datos obtenidos se presentan en la tabla IV.

Tabla IV. **Velocidad del motor**

No. de lectura	Velocidad en vacío revoluciones por minuto (RPM)	Velocidad a plena carga revoluciones por minuto (RPM)
1	1,800	1,795
2	1,810	1,796
3	1,802	1,800
4	1,805	1,800
5	1,802	1,800
6	1,800	1,800
7	1,800	1,798
8	1,814	1,795
9	1,809	1,798
10	1,802	1,800

3.3 Parámetros de temperatura

Entre los datos más importantes que debe prestarse especial atención, está la temperatura que se desarrolla en distintos puntos del sistema de enfriamiento, lubricación, inyección, sobrealimentación y en cada uno de los elementos en constante movimiento como los componentes que trabajan en posición fija.

Los diferentes materiales utilizados, en la fabricación del motor trabajan en condiciones normales hasta ciertos puntos de temperaturas, así como otros factores las características térmicas tienen un rango de valores permisibles de operación para ofrecer excelentes resultados.

Los valores de temperatura demasiado altos, inciden de forma directa en la dilatación excesiva de las superficies de piezas, pérdida de características del aire de alimentación, disminución de las propiedades del aceite lubricante, fatiga o falla de materiales, características propias del combustible, problemas de disipación de calor de la unidad completa por saturación del fluido de refrigeración.

Cuando los valores térmicos desarrollados en la unidad motriz son bajos, se presentan aspectos como desgaste excesivo por lubricación viscosa, combustión inadecuada por disminución de calor, ajustes de precisión incorrecta, pérdidas de compresión, escape de pequeñas cantidades de lubricante.

El motor tiene instalados dispositivos que solo indican el valor de temperatura del aceite lubricante, fluido de refrigeración y block, pero es necesario conocer bajo que temperaturas funcionan otros puntos importantes. Para determinar estos valores, se hace un estudio termográfico con un dispositivo digital conocido con el nombre de pistola de rayo laser. Los puntos seleccionados y las temperaturas obtenidas, se encuentran en la tabla V.

3.4 Sistema de inyección

Se analiza, el sistema que posibilita que la combustión sea realizada del modo más favorable y conseguir el máximo rendimiento del motor, es decir, que los gases no quemados sean los mínimos a la salida del múltiple de escape. El combustible debe inyectarse en la cámara de combustión en las condiciones precisas tanto en cantidad dosificada como tiempo especificado.

Tabla V. **Temperaturas del motor**

Lugar en análisis	Temperatura obtenida °C	Temperatura especificada °C
Entrada al radiador	88	85 – 90
Salida del radiador	52	50 – 60
Carter	80	70 – 85
Entrada de lubricante al turbo compresor	110	100 – 115
Salida de lubricante del turbo compresor	180	175 – 185
Múltiple de admisión	80	80 – 85
Múltiple de escape	572	570 – 580
Culata	66	65 – 75
Centro del block	80	80 – 85
Parte superior del block	75	75 – 85
Extremo del volante eje cigüeñal	72	70 – 80

Para garantizar un eficiente funcionamiento del motor es necesario conseguir que cada cilindro reciba en el momento exacto, a las condiciones de régimen y carga, la cantidad correcta de combustible; además la pulverización, presión y penetración de este, debe realizarse con uniformidad en el interior de la cámara para que intercepte el aire necesario y se obtenga como resultado la correcta combustión.

3.4.1 Circuito de baja presión

Está constituido por elementos que se encargan de transportar el combustible desde un depósito de almacenamiento a través de conductos hasta entregarlo al sistema de inyección de alta, la presión que suele mantenerse en el circuito de baja esta entre 1 y 2 Kg/cm².

3.4.1.1 Depósito de combustible

Está provisto de una boca de llenado con un tamiz que impide la entrada de grandes impurezas, contiene un tubo de aspiración del combustible, un tapón con orificio de ventilación y otro dispositivo que contiene un tapón de vaciado.

3.4.1.2 Bomba de alimentación

Se encarga de aspirar el combustible del depósito y lo impulsa bajo presión a la cámara de admisión de la bomba de inyección a través del filtro correspondiente, la bomba de alimentación tiene un cebador manual que se utiliza para llenar el circuito cuando hay cambio de filtro o ausencia de combustible, también sirve para evitar perturbaciones en el funcionamiento de los elementos de inyección al realizar purga que permiten eliminar aire del circuito.

Después de la bomba de alimentación, se encuentran algunos elementos que garantizan el suministro de combustible al sistema de alta presión.

Válvula de retención

Se utiliza para evitar retorno de combustible y de esta manera, se asegura en todo momento el suministro a la bomba de inyección.

Válvula de descarga

Esta limita la presión de entrada de combustible a la bomba de inyección, como la alimentación, es constante se encarga de reconducir al depósito el sobrante de combustible

Válvula de rebose

A través de esta, son devueltas al depósito las posibles burbujas de aire o vapores que contenga la línea de combustible y mantener así, un autopurgado permanente.

Decantadores de agua

Se encargan de evitar daños rápidos en los delicados y precisos elementos de inyección, impide alterar el proceso de combustión al eliminar parte del agua contenida en la línea del combustible.

3.4.1.3 Filtro

La función de un elemento filtrante, es retener las impurezas existentes en el combustible, la purificación de éste se realiza acorde a las necesidades y calidad que se pretende obtener, los elementos de la bomba de inyección generadores de presión y los inyectores están adaptados entre sí con precisión de milésimas de milímetro, esto significa que las impurezas del combustible que alcancen este tamaño o que produzcan desgaste pueden dificultar el funcionamiento de estas piezas, porque se tiene como consecuencias, arranque incorrecto, velocidad irregular, menor potencia, formación de humo, mayor consumo y deficiencias en el combustible.

En el recorrido del combustible se encuentran dos tipos de elementos filtrantes, los prefiltros pueden hallarse en el tubo de aspiración y en la entrada de la bomba de alimentación, el segundo filtro se localiza antes de la bomba de inyección. Debido a los cambios de temperatura existe condensación de agua, que puede evacuarse a través de purgado automático o manual del acumulador que está integrado a cada filtro instalado.

En cuanto al material de fabricación de los cartuchos del filtro puede encontrarse papel, cartón tamiz metálico, tandem por etapas.

3.4.2 Circuito de alta presión

Se encarga de enviar el suficiente combustible en el momento apropiado, a la presión necesaria, en el orden establecido al interior de la cámara de combustión para lograr las mejores condiciones en el rendimiento térmico del motor, la inyección del combustible debe realizarse entre 135 y 260 Kg/cm² de presión en cantidades pequeñas, precisas e iguales en cada cilindro.

3.4.2.1 Bomba de inyección lineal

Tiene un elemento de bomba compuesto por émbolo y camisa para cada cilindro del motor, el control cronológico de la alimentación de combustible está a cargo del árbol de levas, sin embargo para la aplicación, se requiere de un grupo de componentes como unidad completa.

3.4.2.1.1 Elementos

Entre los elementos principales propios y auxiliares de una bomba de inyección, se mencionan: émbolo y cilindro, regulador, variador de avance, válvula de presión.

Émbolo y cilindro

El émbolo se ajusta en el cilindro con tal precisión que hay estanqueidad incluso en el caso de altas presiones y de número de revoluciones bajas, las pequeñas pérdidas por fugas son necesarias con vistas a la lubricación de éstos elementos.

El émbolo de la bomba presenta, una ranura longitudinal vertical y un rebaje practicado lateralmente, en el cilindro van dispuestas una o dos lumbreras para la entrada del combustible y la desactivación. Debido a la correspondencia exacta entre el émbolo y el cilindro, deben ajustarse, corregirse o reemplazarse por completos y nunca por separados.

Regulador

Tiene la función de mantener un régimen determinado dentro del campo de tolerancia elegido, es decir las revoluciones del motor no descienda por debajo de un valor establecido, si esto ocurre la máquina se para, tampoco debe sobrepasar un cierto régimen porque se destruye.

El regulador tiene que empujar la barra de regulación a la posición de más caudal o hacia el punto de paro, además de cumplir este cometido cumple con otras funciones como la liberación o el bloque automático del caudal de arranque, la regulación del mismo de acuerdo al número de revoluciones y la corrección alimétrica.

Variador de avance

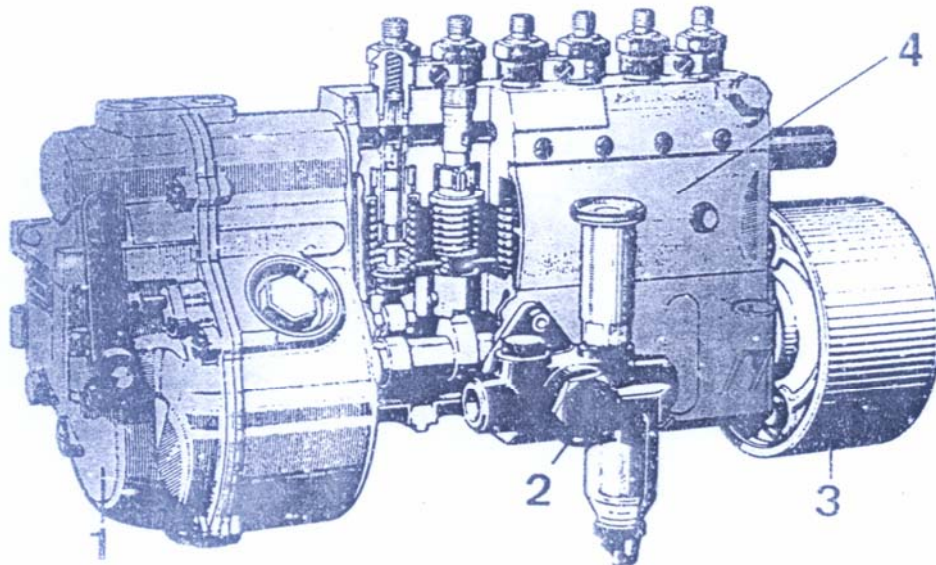
Se utiliza para regular en el motor, el momento preciso para iniciar la inyección del combustible, en función del régimen de giro del motor y el retardo a la inflamación. Entonces es necesario conseguir en cada momento que la combustión, se inicie en las proximidades del punto muerto superior, al valor presente por el fabricante. Además este elemento de la bomba lineal permite facilitar con el apoyo de otros dispositivos el arranque en frío, sobrecargas y retardo de la inyección.

Válvula de presión

La válvula de presión descarga la tubería de impulsión mantiene una presión residual y separa la misma del circuito de alta presión, está formada por un racor que se encuentra roscado en el cuerpo de la bomba y en el interior de este hay una válvula mantenida a presión por un resorte sobre su asiento.

Durante el proceso de alimentación, la válvula es levantada del asiento por la presión que se forma en la cámara de alta, el combustible se impulsa a través del racor y de la tubería de impulsión hacia el inyector, en cuanto la rampa sesgada del émbolo de la bomba desactiva el proceso de inyección, se reduce la presión en la cámara de alta, a consecuencia de esto el resorte empuja de nuevo a la válvula de presión contra el asiento, de esta manera el circuito de inyección de alta presión quedan separados hasta la siguiente carrera de alimentación. Los elementos principales de la bomba de inyección lineal se presentan en la figura 11.

Figura 11. **Bomba de inyección lineal**



1. Regulador centrífugo
2. Bomba de alimentación
3. Variador de avance centrífugo
4. Cuerpo principal

3.4.2.1.2 Funcionamiento

La bomba de inyección en línea basa el funcionamiento en el desplazamiento de un émbolo de recorrido total constante pero con carrera de trabajo regulable, durante este proceso se distinguen tres etapas fundamentales.

Etapas 1

El pistón del elemento, se encuentra en el punto muerto inferior, el combustible, a través de unos conductos ingresa y llena la cámara superior, por medio de una ranura vertical entra también en la cámara inferior del pistón.

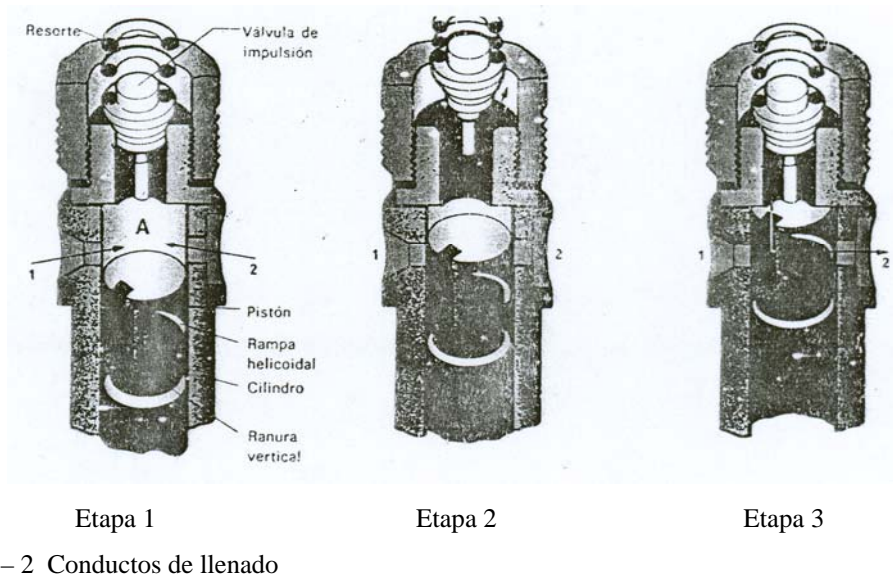
Etapas 2

El pistón, accionado por la leva de mando, es forzado a realizar una carrera ascendente, cierra los conductos por donde ingresa el combustible, este momento de la fase, es el principio de la inyección, instante en que la válvula de descarga situada por encima de la cámara superior, se abre y el combustible se dirige al inyector.

Etapas 3

Durante esta etapa el pistón continúa la carrera ascendente e impulsa el combustible al inyector hasta que la ranura helicoidal practicada en el pistón descubre uno de los orificios de llenado en este momento, la presión disminuye y se cierra la válvula que se comunica con el inyector, esto indica el final de la inyección. En la figura 12, se visualiza cada una de estas etapas.

Figura 12. **Etapas de funcionamiento**

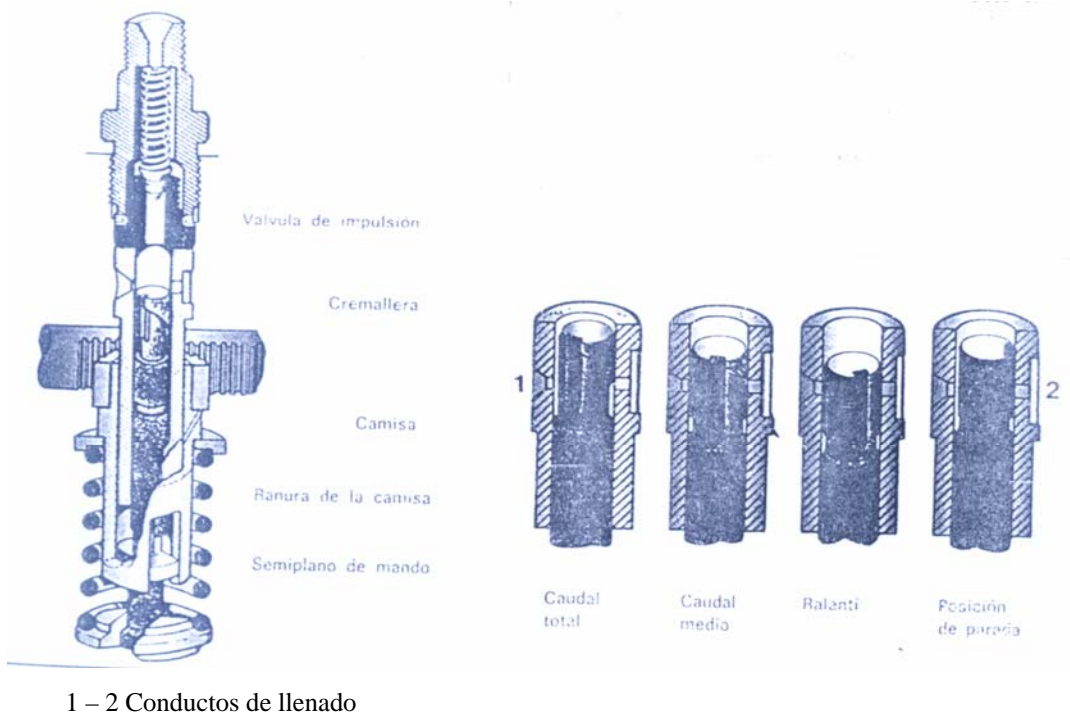


3.4.2.1.3 Dosificación de combustible

La variación del caudal necesario de combustible, se consigue al girar el pistón, mediante una cremallera que toma el desplazamiento de la posición del acelerador, esto conlleva que la ranura helicoidal coincida antes o después con el orificio de retorno.

Al hacer girar lo suficiente al pistón hasta que la ranura vertical coincida con el orificio de retorno, se evita que este pueda quedar obturado, en esta posición se encuentra el estado de parada del sistema, se imposibilita de este modo la impulsión del combustible hasta los inyectores. El elemento para dosificar el combustible junto con el émbolo y cilindro es presentado en la figura 13.

Figura 13. Elemento para dosificar el combustible

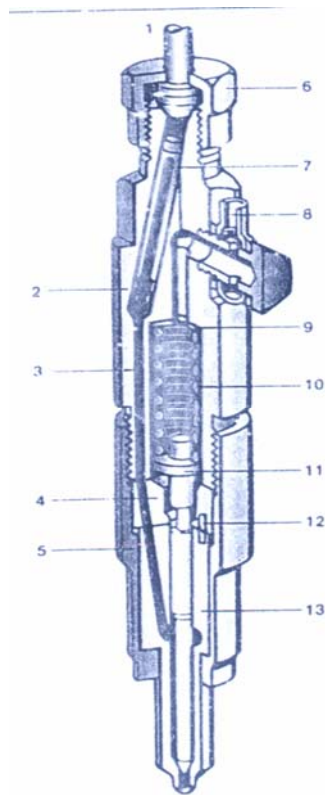


3.4.2.2 Inyectores

Los inyectores realizan la pulverización de una pequeña cantidad de combustible y lo dirige esparcido de forma homogénea por toda la cámara de combustión, es importante diferenciar entre inyector y portainyector, es decir que el primero está fijado en el segundo, este último contiene los conductos, racores de llegada y retorno del combustible.

Los inyectores son dispositivos que contiene un cuerpo y una aguja que se fabrican con ajustes muy precisos y hechos el uno para el otro, trabajan a presiones elevadas entre 135 y 260 Kg/cm², con frecuencia de accionamiento de hasta dos mil aperturas por minuto. En la figura 14, se presentan los elementos de un inyector.

Figura 14. **Inyector**



- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1. Entrada | 8. Empalme para combustible de fuga |
| 2. Cuerpo de sujeción | 9. Arandelas para ajuste de presión |
| 3. Canal de presión | 10. Muelle de presión |
| 4. Disco intermedio | 11. Perno de presión |
| 5. Tuerca de fijación del inyector | 12. Pasadores |
| 6. Tuerca de racor para tubería de impulsión | 13. Inyector |
| 7. Filtro de varilla | |

3.4.2.2.1 Funcionamiento

El combustible suministrado por la bomba de inyección llega a la parte superior del inyector y desciende por el canal fabricado en la tobera, hasta llegar a una pequeña cámara tórica situada en la base que cierra la aguja del inyector posicionado sobre un asiento cónico con la ayuda de un resorte, que mantiene el conjunto cerrado.

El combustible, sometido a una presión muy superior a la fuerza del resorte, levanta la aguja y es introducido en el interior de la cámara de combustión, cuando la presión del combustible desciende, por haberse producido el final de la inyección, el resorte devuelve a la aguja a la posición inicial sobre el asiento del inyector.

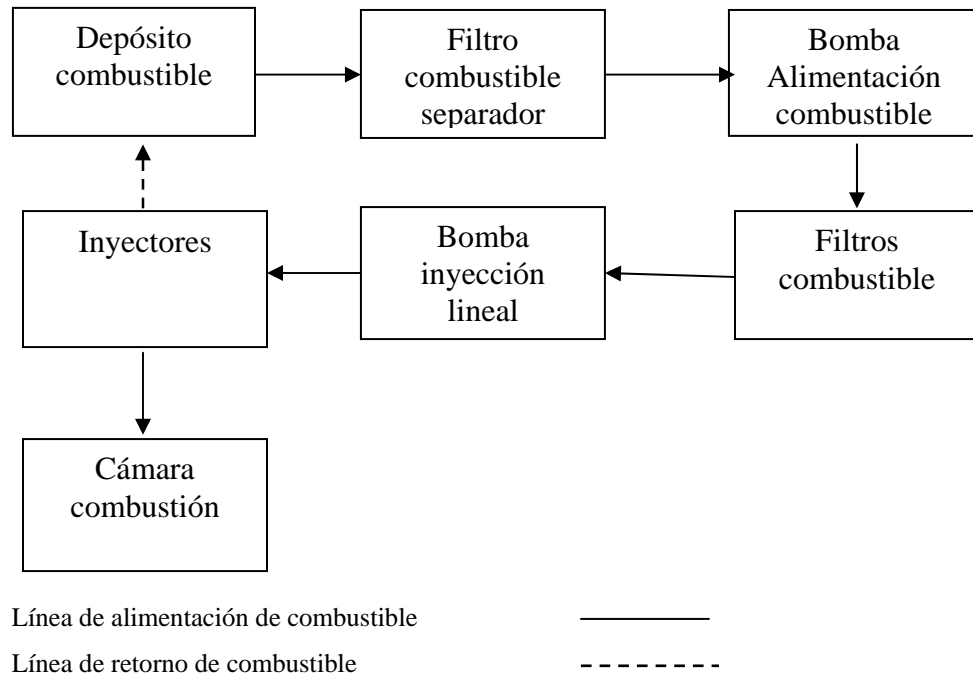
3.4.2.2.2 Tipo de inyector

Existen varios tipos de estos elementos y la utilización depende del sistema de inyección y de la clase de cámara de combustión dispuesta en cada motor, para el caso de análisis, se tiene un sistema de inyección directa, entonces el inyector a usarse es de orificios múltiples, con agujeros de diámetro 0.09 milímetros y con una presión de apertura de 135 a 260 Kg/cm². Un esquema simplificado del sistema de inyección, se presenta en la figura 15.

3.5 Sistema de regulación

Se caracteriza por tener elementos que trabajan con señales de precisión para crear condiciones puntuales en la dosificación de combustible que responda a la clase de carga aplicada como mantener el régimen para un motor estacionario, así conseguir una mejor funcionalidad e incrementar el rendimiento global.

Figura 15. **Esquema del sistema de inyección**



3.5.1 Clase de regulador

Este elemento va enlazado de forma directa con el circuito de inyección, para la dosificación de combustible por medio de una bomba lineal, puede encontrarse elementos mecánicos, hidráulicos o electrónicos.

En el caso del motor en estudio, tiene una unidad de regulación electrónica que se identifica con el número 2301 A que provee de precisión a la máquina y realiza correcciones necesarias al combustible al gobernar la varilla de regulación de la bomba.

3.5.2 Elementos

El sistema de regulación, está compuesto de varios elementos que deben cumplir con la función específica asignada para lograr el control de la velocidad del motor y la dosificación requerida de combustible en el tiempo preciso de inyección.

Unidad de control

La constituye las diferentes tarjetas electrónicas que administran, procesan y envían información para que se realicen actividades de regulación, se encuentran distribuidas de manera adecuada dentro de un panel de control que además de proporcionar protección al equipo permite monitorear, visualizar y controlar varias funciones del grupo generador.

Sensores

Dispone básicamente de tres sensores de señales de potencial, tres de corriente que sirven para detectar la carga aplicada, estos se encuentran instalados en el área de transferencia, además consta de un sensor magnético instalado en la carcasa del motor cerca del volante para obtener la velocidad de operación, este dispositivo utiliza el principio de un pequeño generador de corriente alterna que al variar el entre hierro, induce un pulso de voltaje.

Actuador

Es un elemento de enlace que recibe desde la unidad de control señal electrónica para convertirla en una actividad mecánica que incide de forma práctica en la varilla de regulación de la bomba inyectora, es decir es el elemento final que actúa sobre el sistema de inyección para cumplir estrictos parámetros de dosificación, velocidad y mantener la eficiente operación del motor según la aplicación de carga.

3.6 Rendimiento

Es importante proporcionar al motor las condiciones indispensables de trabajo, cuidados necesarios y aceptables para que el funcionamiento desarrollado se el esperado, también debe conocerse si el aprovechamiento es máximo de los suministros que utilizan los sistemas de combustible e inyección, lubricación y refrigeración.

Para obtener un punto de referencia de las condiciones actuales de operación, identificar las áreas con trabajo aceptable o anormal, determinar los procedimientos y actividades técnicas a aplicar, se recurre al valor de rendimiento o eficiencia que alcanza el motor en estudio. El termino rendimiento, es un valor adimensional en porcentaje que se determina para indicar la óptima operación que produce el motor con relación a los diferentes recursos invertidos en el funcionamiento.

3.6.1 Térmico

El rendimiento térmico expresa la fracción o la cantidad en porcentaje del calor suministrado que se convierte en potencia, que se desarrolla en conjunto por los cilindros del motor, este indicativo toma en consideración las diferentes temperaturas que intervienen en cada uno de los procesos del ciclo completo.

Para encontrar el valor de este tipo de rendimiento, se utiliza las siguientes variables propias del proceso y constantes del combustible diesel como medio calorífico suministrado.

$$H_{pi} = (P_m * l * A * N) / (60 * 76)$$

$$e_i = (642 * H_{pi}) / (m_f * H_f)$$

H_{pi} = potencia indicada

e_i = rendimiento térmico indicado

P_m = presión efectiva media, en Kg/cm²

l = carrera del émbolo en metros

A = área del émbolo en cm²

N = pistonadas útiles por minuto

m_f = consumo por hora en Kg

H_f = potencia calorífica del combustible en Kcal/Kg

En la determinación del rendimiento térmico que produce el funcionamiento del motor, se utilizan datos como presión media 12.47 Kg/cm², carrera 0.1905 metros, diámetro del émbolo 17.018 cm, revoluciones 1,800; consumo y potencia calorífica del combustible 112 Kg/h y 11,000Kcal/Kg, respectivamente.

$$A = 227.46 \text{ cm}^2$$

$$N = (12 * 1,800) / 2$$

$$N = 10,800$$

$$H_{pi} = (12.47 * 0.1905 * 227.46 * 10,800) / (60 * 76)$$

$$H_{pi} = 1,279.75$$

$$H_{pi} = 1,280$$

$$e_i = (642 \cdot 1280) / (11,000 \cdot 112)$$

$$e_i = 66.70 \%$$

Después de realizar las actividades de mantenimiento como cambio de lubricante y líquido refrigerante apropiado, reemplazo de elementos filtrantes de aire, aceite, combustible, puesta a tiempo de ejes y bomba de inyección, así también cumplir con el procedimiento de dosificación de carga y operación, se obtiene un consumo promedio de 99.2 Kg/h que influye de forma directa en el valor de eficiencia del motor.

$$e_i = (642 \cdot 1280) / (11,000 \cdot 99.2)$$

$$e_i = 75.31 \%$$

Se observa, que el valor de eficiencia incrementa de 66.70 a 75.31 % lo que indica que el funcionamiento del motor es mejor y además el consumo del combustible disminuye, esto representa un aprovechamiento óptimo de los recursos utilizados.

3.6.2 Rendimiento volumétrico

En la obtención de este tipo de rendimiento, se toma en cuenta datos del peso de aire que ingresa a los cilindros durante el tiempo de aspiración y los diferentes parámetros de volumen que intervienen en el proceso como valores de espacio perjudicial en unidades cúbicas, volumen total y respectivas relaciones.

3.7 Pruebas de compresión

Son pruebas que se realizan a cada cierto tiempo de operación del motor para conocer la presión que generan los elementos motrices, además proporcionan información sobre la condición de anillos del émbolo, desgaste de cilindros, empaques e identificar puntos clave que pueden ocasionar pérdidas de presión.

El objetivo principal, es obtener un dato real para compararlo con un valor predeterminado por el fabricante e indicar que la presión producida, es adecuada para el funcionamiento del motor. Una pérdida de presión, causa disminución en el valor de temperatura del aire comprimido, esto ocasiona una combustión incompleta y un bajo rendimiento de operación. En la ejecución de una prueba de compresión, es necesario realizar con cuidado y eficiencia los siguientes pasos.

1. Se verifica que la transferencia esté desconectada.
2. Encender el motor durante un tiempo de dos a cinco minutos, para lograr el ajuste de operación normal de las piezas que intervienen en la generación de presión.
3. Parar el motor y asegurarse que el interruptor de arranque esté en posición de apagado.
4. Debe retirarse del borne positivo de la batería el cable respectivo.
5. Aflojar los tornillos y retirar la cubierta de válvulas del cilindro donde se realiza la medición.
6. Aflojar el adaptador y quitar la tubería de impulsión del inyector.
7. Desenroscar el inyector y retirarlo del respectivo alojamiento.
8. Se coloca un adaptador que tiene forma similar al inyector y se instala en el extremo del mismo, el compresímetro.
9. Conectar el cable en el borne positivo de la batería, luego a través del interruptor de encendido hacer girar el volante con el motor de arranque durante un tiempo de 3 a 5 segundos para alcanzar igual número de carreras de compresión, esto se hace sin aplicar carga al motor.
10. Observar en el compresímetro la lectura de presión proporcionada por el cilindro en prueba, se hace regresa el interruptor de encendido a la posición de apagado, luego se efectúa el registro del valor obtenido.

11. Retirar de nuevo del borne positivo de la batería el cable respectivo, se afloja y desmonta el instrumento de medición con el respectivo adaptador.
12. Se instala de forma correcta el inyector, el adaptador junto con la tubería de impulsión y se coloca la cubierta de válvulas con los respectivos tornillos.

Para obtener el valor de compresión de los demás cilindros del motor, se procede a realizar los pasos del 3 al 11.

3.8 Puesta a punto del motor

Los elementos de cualquier clase de máquina como los diferentes componentes de un motor de combustión interna se diseñan y construyen para trabajar bajo dimensiones específicas, ángulos de inclinación, ajustes u holguras entre dos o más piezas, parámetros de variables de operación.

En el motor Diesel es indispensable que los diferentes sistemas como elementos propios, estén colocados, ensamblados con medidas de precisión y hacer que coincidan las marcas establecidas en la fabricación, para el motor en análisis, se realiza énfasis en la puesta a tiempo de ejes, engranajes y bomba de inyección.

3.8.1 Puesta a tiempo de ejes

Esta actividad se efectúa en forma directa sobre el eje de levas que gobierna la apertura y cierre de válvulas y el cigüeñal que transmite el movimiento a este y a otros elementos que intervienen en el funcionamiento global. Para esto, se requiere de datos que pertenecen solo al motor en análisis como juego de válvulas en milésimas de pulgada para admisión 15 y escape 22, es necesario la cantidad en grados que determina el tiempo de apertura que es 12 APMS y además ejecutar el siguiente procedimiento.

1. Aflojar los tornillos, retirar la cubierta de las válvulas y la del juego de engranajes correspondientes al eje cigüeñal y de levas.
2. Colocar una marca en los engranajes del eje de levas y bomba inyectora de combustible.
3. Aflojar los tornillos de polea tensora y retirar las fajas que accionan el ventilador, además dejar libre el movimiento del engranaje del eje de levas respecto al cigüeñal.
4. Se identifica el cilindro número uno que es el punto de referencia.
5. se selecciona del calibrador una hoja de 15 milésimas de pulgada y coloca entre el balancín y la válvula de admisión del cilindro de referencia.
6. Girar el eje de levas en sentido de rotación del motor hasta que la válvula de admisión empiece a abrir.
7. Se gira el eje cigüeñal en dirección del funcionamiento, hacer que coincida la marca cero del motor que está en la polea del eje con la lectura de 12° antes del punto muerto superior que aparece indicado en la placa adherida al block del motor.
8. Habilitar de nuevo el movimiento entre los engranajes del eje de levas respecto al cigüeñal, sin causar algún movimiento en las marcas obtenidas, luego colocar la faja del ventilador, tensarla y apretar los tornillos correspondientes.
9. Se retira la hoja del calibrador colocada en el paso cuatro.
10. Dar unas vueltas al eje cigüeñal en el sentido normal de rotación y revisar el ajuste de 15 milésimas de pulgada en el cilindro número uno.
11. Se realiza el ajuste de las válvulas de admisión y las de escape en el orden especificado en el manual.
12. Colocar la cubierta tanto de las válvulas como del juego de engranajes y apretar los tornillos correspondientes.

3.8.2 Puesta a tiempo de bomba de inyección

El motor en estudio tiene instalada una bomba de inyección lineal que es accionada por el eje cigüeñal a través de juego de engranajes, para obtener el punto correcto de inyección, se utiliza el método de tubo capilar y cumplir el siguiente procedimiento.

1. Aflojar los tornillos y desmontar la cubierta del juego de engranajes, luego dejar libre el instalado en el eje de la bomba sin permitir que marcas propias del sistema de inyección así como del eje de levas y cigüeñal se pierdan.
1. Identificar el tubo de la bomba que alimenta el cilindro número uno, se afloja el adaptador, retira el ducto y se coloca un tubo capilar de longitud 20 centímetros con el respectivo adaptado.
2. Se coloca de forma manual la varilla de regulación a entrega máxima de combustible.
3. Se gira el eje de la bomba de manera que complete una revolución para llenar de combustible el tubo capilar y realizar una marca donde llegue el nivel.
4. Se vuelve a girar el eje pero esta vez despacio y con especial atención para observar el instante en que cambie el nivel del combustible en el tubo, en este momento, se detiene el movimiento y se hace que la marca del eje o engranaje coincida con la indicada en el cuerpo de la bomba.
5. Se procede a colocar o dejar fijo el engranaje que acciona el eje de la bomba sin mover ninguna de las marcas y verificar que sea impulsado por la rueda dentada correspondiente.
6. Se desmonta el tubo capilar e instala el ducto que comunica al inyector del cilindro número uno.

3.9 Sistema de enfriamiento

El circuito de enfriamiento que tiene el motor en estudio, está compuesto por los diferentes elementos mencionados con anterioridad, utiliza un medio líquido para refrigerar la diversidad de componentes y áreas de trabajo.

3.9.1 Clases de líquidos

En la actualidad, se encuentran en el mercado varios tipos de fluidos líquidos para el sistema de enfriamiento que deben mezclarse con el agua de forma proporcional de acuerdo a los requerimientos de operación y mantenimiento.

Agua

La utilización de este líquido sin mezclarse con otro elemento no es conveniente porque produce corrosión, que ocurre más en áreas donde hay diferencias de presión, además tiende a formar cavitación de camisas y reduce la temperatura de ebullición a 83°C.

Refrigerante verde

La presentación es en color verde o amarillo tiene propiedades para evitar corrosión, congelación y aumentar el punto de ebullición, pero debe cambiarse en períodos relativamente cortos por la caída de los componentes aditivos, también reduce la transferencia de calor por la acción aislante que produce.

Refrigerante rojo

Los colores disponibles pueden ser rojo o anaranjado, tiene propiedades anticongelantes, anticorrosivos a base de etilenglicol con ácido carboxilato, reacciona con los metales para protegerlos solo donde hay acción corrosiva.

3.9.2 Refrigerante apropiado

De acuerdo a la información anterior, se opta por el refrigerante color rojo para utilizarse en el sistema de enfriamiento del motor en análisis. El fluido, se prepara con proporciones de 50% agua destilada y 50% del líquido seleccionado, los resultados que se alcanzan, es la eliminación de obstrucciones de flujo causados por sedimentos, reducir residuos metálicos que producen tapones en el radiador, un 8% más transferencia de calor que los productos de formulación tradicional. además las propiedades de la mezcla fluida se mantienen por mayor tiempo esto reduce la cantidad de cambios en un período establecido.

3.10 Lubricación

Un lubricante es toda sustancia sólida, semisólida o líquida de origen animal, vegetal, mineral o sintética que puede utilizarse para disminuir el rozamiento entre elementos en movimiento. El lubricante para motores esta compuesto por dos grandes familias de productos, la base y los aditivos.

La base de origen mineral es obtenida por destilación de petróleo que está compuesta en mayor parte por hidrógeno y carbono en menor proporción por oxígeno, azufre y nitrógeno. Los aceites sintéticos obtienen la base mediante la transformación por síntesis química de materias primas como poliglicoles, siliconas, poliéteres aromáticos, alifáticos y ésteres. También existen aceites catalogados como semisintéticos que tienen una proporción aproximada de 60% base mineral y 40% de componentes sintéticos.

3.10.1 Propiedades

Para obtener los mejores resultados de un aceite que lubrique los distintos elementos del motor, soporte las diferentes condiciones de operación, evite la ruptura de la película lubricante, garantice que las características no cambien al transcurrir un determinado período de tiempo, es necesario que el lubricante reúna propiedades físicas, térmicas y químicas.

3.10.1.1 Propiedades físicas

Densidad

Es la relación entre la masa y el volumen o el peso específico, es importante conocer que un aceite lubricante posee una densidad menor que el valor del agua. Los lubricantes de origen aromático se caracterizan por tener esta propiedad alta, los nafténicos se consideran de valor medio y los parafínicos presentan menor densidad.

Viscosidad

Es la propiedad más importante de los aceites y se puede definir como la facilidad de movimiento que tienen las moléculas entre sí, la medida de rozamiento interno o la resistencia que tiene el lubricante al fluir.

Fluidez

Es la propiedad opuesta a la viscosidad, el movimiento de la estructura interna del lubricante depende si el lubricante presenta densidad alta, media o baja.

3.10.1.2 Propiedades térmicas

Índice de viscosidad

En el lubricante, es fundamental que la viscosidad disminuya lo menos posible al incrementar el valor de la temperatura, cuanto mayor es el índice de viscosidad, el aceite presenta mejores condiciones para soportar cargas y temperaturas de operación.

Punto de inflamación

Es la temperatura mínima que permite al aceite desprender la cantidad suficiente de vapores para inflamarse, al serle aplicada una llama por un instante, cuando se quema deja residuos carbonosos que forman depósitos no deseados y pueden favorecer fenómenos como el autoencendido o la detonación.

El aceite lubricante debe tener un punto de inflamación alto para dificultar la combustión y debe ofrecer poca tendencia a la formación de los residuos mencionados.

Punto de congelación

Es el valor de temperatura, donde el aceite pierda toda capacidad de fluir, por esto es indispensable que este punto sea lo más bajo posible según las necesidades de utilización con frecuencia los aditivos mejoran notablemente este dato.

Punto de enturbamiento

Es la temperatura que permite separación de las parafinas y otras sustancias en forma de cristales y tiende a incrementar de forma significativa el riesgo de obstrucciones en el circuito de lubricación.

Punto de anilina

Es el valor mínimo de temperatura donde una mezcla a partes iguales de aceite y de anilina pueden sobulizarse, este punto es importante a fin de proteger los sistemas de estanquidad constituidos por caucho o elastómeros.

3.10.1.3 Propiedades químicas

Las proporcionan componentes que representan un diez a veinte por ciento del lubricante y tiene como finalidad mejorar las características de la base para asegurar una buena lubricación.

Formación de espuma

Los componentes del aceite utilizado bajo condiciones de operación permitidas deben evitar la formación excesiva de espuma superficial para garantizar la lubricación eficaz y un consumo aceptable de aceite.

Número de neutralización

Se refiere a la cantidad de álcali o acidez que se requiere para neutralizar el contenido ácido básico del lubricante.

Antioxidantes

Se enfocan a retardar la oxidación del aceite a elevadas temperaturas para evitar la aparición de lodos, barnices, variaciones en viscosidad, presencia de ácidos corrosivos.

Detergentes

A temperaturas medias y altas, se encargan de mantener libre al motor de depósitos de lacas, barnices, residuos carbonosos mediante la suspensión de estos elementos nocivos.

Antiherrumbre

Son elementos que se encargan de evitar la herrumbre de los elementos férricos, al impedir la condensación de la humedad en el interior del circuito de lubricación.

Antidesgaste

Están destinados a reforzar la película del lubricante para evitar en esfuerzos de extrema presión el contacto directo de las piezas a diversas temperaturas, con esto se logra suavizar el rozamiento.

3.10.2 Clasificación

Es importante prestar atención a las diferentes clases de lubricantes que el mercado ofrece, porque a través de estas se puede determinar y seleccionar el aceite adecuado para características geográficas, condiciones de operación, tipo de motor, calidades según exigencias del fabricante y recomendaciones de seguridad ambiental.

3.10.2.1 Aceites calidad SAE

Esta clasificación la establece la Sociedad Americana de Ingenieros del Automóvil que toma como base la propiedad de viscosidad en función de las variaciones de la temperatura, en la tabla VI, se puede observar los aceites para motor.

3.10.2.2 Aceites calidad API

La clasificación que presenta el Instituto Americano de Petróleo, es de acuerdo al año de fabricación del motor, condiciones de utilización, propiedades específicas de calidad que se desean cubrir, para motores de combustible diesel, hace referencia a la letra C. Las categorías de aceite se pueden encontrar en la tabla VII.

Tabla VI. Clasificación SAE

Número SAE	Viscosidad máxima		Viscosidad mínima a 100 °C cst	Temperatura límite de bombeabilidad máxima en °C
	°C	C Poises		
0W	-30	3250	3.8	-35
5W	-25	3500	3.8	-30
10W	-20	3500	4.1	-25
15W	-15	3500	5.6	-20
20W	-10	4500	5.6	-15
25W	-5	6000	9.3	-10
20			5.6	
30			9.2	
40			12.5	
50			16.3	

3.10.2.3 Aceite calidad ACEA

Es una clasificación que pertenece a la Asociación de Constructores Europeos de Automóviles, que designa a los aceites para motores de combustible diesel con la letra E y un número que indica la aplicación y calidad del mismo. Lo anterior, se encuentra en la tabla VIII.

Tabla VII. **Clasificación API**

Clase	Aplicación
CA	Para condiciones de trabajo suaves o moderadas, de alta calidad, protege contra la corrosión de cojinetes y depósitos en suspensión, es obsoleto porque su uso se remonta a los años 1,940 y 1,950.
CB	Recomendable para condiciones de trabajo suaves o moderadas, de baja calidad, protege contra el desgaste y la formación de depósitos por el alto contenido de azufre del combustible, utilizado a partir de 1,950, es obsoleto.
CC	Aceite para condiciones de trabajo suaves o moderadas en motores aspirados o sobrealimentados protege a altas temperaturas contra la corrosión y la formación de depósitos. Es obsoleto porque, se utiliza a partir de 1,961.
CD	Es especial para el control de desgastes y formación de depósitos, utilizado en motores aspirados o sobrealimentados, es obsoleto porque, se usa a partir de 1,965 es apto para funcionar en máquinas con alto contenido de azufre.
CE	Aceite para motores sobrealimentados, de similares características que la clase CD pero con mayor protección frente al pulido de camisas.
CF	Para características de inyección indirecta, hay similitud con la clase CD, pero mejora el control de depósitos, el desgaste y la corrosión de las aleaciones de cobre, incluso con combustibles de alto contenido de azufre.
CF-2	Especial en motores de dos tiempos, es eficaz contra la formación de depósitos en segmentos y cilindros.
CF-4	De similares características a la categoría CE, con especificación a la reducción de emisiones de partículas.
CG-4	Para motores de alta velocidad en trabajos de recorrido alto y obras industriales, indicado para combustibles con bajo contenido de azufre. Protege contra la formación de depósitos de alta temperatura, el desgaste, la corrosión, la oxidación y la acumulación de carbón, utilizado a partir de 1,994.

Tabla VIII. **Clasificación ACEA**

Clase	Aplicación
E1	Para motores antiguos, aspirados o sobrealimentados, con trabajos ligeros y con intervalos de cambios normales, evita el pulido de camisas.
E2	Aceite de calidad estándar para uso general, cumple las protecciones mínimas contra la formación de hollín de diversos ensayos.
E3	Para motores aspirados o sobrealimentados, en condiciones muy severas de uso, hay similitud en términos de protección frente a la formación de hollín respecto del E2 y al API- CG4.

3.10.3 Elementos

Para asegurar la cantidad de aceite suficiente a todas las partes móviles del motor con el objetivo de garantizar que los componentes mecánicos no sufran deterioro, desgaste, recalentamiento, fallas por ruptura y cumplir con la función de ajuste entre piezas. Se requiere del sistema de lubricación formado varios elementos y cada uno de estos realizan actividades específicas.

Carter

Se construye de material resistente que pueda soportar cambios de condiciones climáticas, temperatura alcanzada en el sistema, posibles impactos conducir el calor para cumplir con funciones de disipación y refrigeración del fluido, además de servir como depósito del aceite.

Bomba

Se encarga de aspirar el aceite del carter y dirigirlo bajo presión de 2 a 4 Kg/cm² por las diversas canalizaciones hacia los elementos a lubricar, también proporciona a cada uno de los puntos requeridos un caudal suficiente, para garantizar la presencia de fluido entre las piezas móviles y atrapar calor que se genera en las mismas.

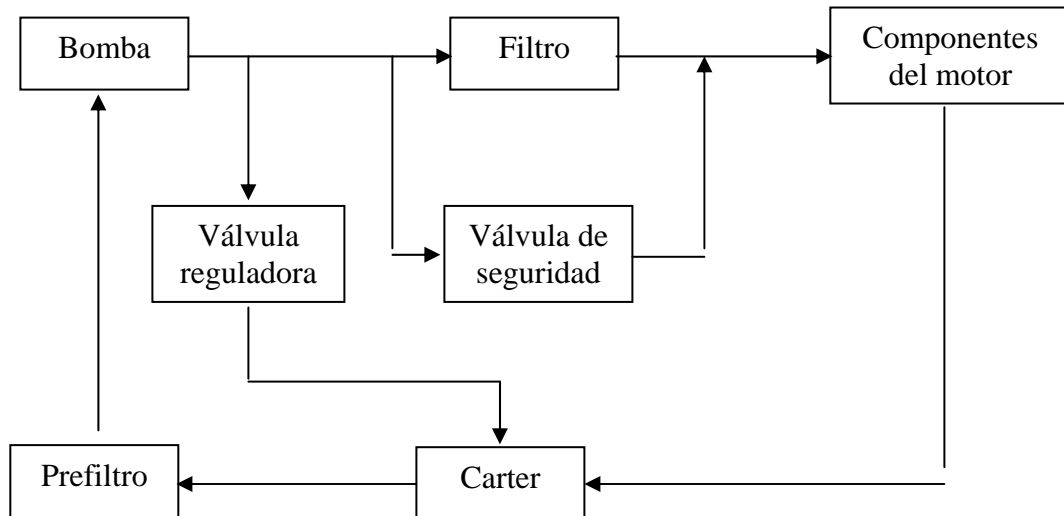
En el motor en análisis, se encuentra instalada una bomba de engranajes que consta de un cuerpo, dos piñones, uno conducido y el otro conductor que toma el accionamiento mecánico del propio motor, también posee dos conductos, la entrada o alimentación y la salida que es controlada por una válvula reguladora de presión.

Filtro

Se encarga de eliminar las impurezas que están en suspensión en el aceite y que pueden dañar las piezas, elementos o superficies en movimiento del interior del motor. Las impurezas están formadas por partículas metálicas, residuos de la combustión, productos residuales de la alteración del propio aceite o elementos extraños presentes, todo lo anterior debe ser conducido por el sistema hasta el filtro que los detiene y evita la posterior circulación de los mismos dentro del motor.

En el interior del carter y al inicio del conducto de alimentación de la bomba, se coloca un prefiltro que retiene las partículas de tamaño considerable para iniciar la purificación del aceite y evitar daños en el dispositivo de bombeo, después se encuentra el filtro que efectúa la tarea final de limpieza. Un esquema básico del sistema de lubricación se presenta en la figura 16.

Figura 16. Esquema del sistema de lubricación



3.10.4 Tipo de lubricante

El lubricante que se utiliza en el sistema del motor, es de clase API CD y al observar las características de este, en la tabla de clasificación del Instituto Americano de Petróleo cumple con propiedades para condiciones de sobrealimentación, protege a altas temperaturas contra la corrosión y la formación de depósitos pero es un aceite para usarse desde 1961.

Para lograr una máxima duración de los diferentes componentes, mantener las propiedades del lubricante, evitar la formación de depósitos de carbón en los pistones, abrasión en los cilindros, consumo anormal significativo.

También, es importante indicar que el aceite ha seleccionar debe cumplir a las condiciones de sobrealimentación; refrigerar las partes móviles, realizar limpieza a través del arrastre de impurezas, asegurar la estanqueidad necesaria de cilindros, por todo la anterior y después de analizar las tablas de clasificación, se opta por el aceite 15W40 SAE, CF-4 de API para el funcionamiento del sistema de lubricación del motor en estudio.

4. MANTENIMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Mantenimiento es una serie de trabajos que se realizan en una máquina industrial, equipos auxiliares, motores de combustión interna para conservar los diferentes componentes y que proporcionen los servicios asignados en el diseño y fabricación.

Es decir, el mantenimiento está constituido por actividades y procedimientos planificados, organizados para ejecutarlos con la finalidad de evitar paros inesperados o repentinos de diferente tiempo de duración y además lograr el máximo rendimiento de las piezas de cambio, suministros utilizados, obtener óptimos resultados de operación y garantizar la vida útil del motor estacionario.

4.1 Tipos de mantenimiento

En términos generales las diferentes actividades relacionadas con el mantenimiento básico deben enfocarse y agruparse en ciertas clases. Los tipos más conocidos son el mantenimiento correctivo y preventivo, cada uno de estos es aplicado de acuerdo a la situación que se presente en el motor y a los resultados que se esperan obtener.

También, es importante indicar que cada mantenimiento tiene procedimientos de acción métodos y técnicas de análisis, tiempos estimados de aplicación, pero persiguen la operación constante del motor.

4.2 Mantenimiento correctivo

Consiste en actividades dirigidas hacia la corrección o modificación del diseño de algunos componentes del motor. Es decir, se refiere a corrección de averías sistemáticas en piezas, eliminar el efecto de la interrupción de funcionamiento; realizar reacondicionamientos y reparaciones que permiten obtener la operación normal con calidad para mantener las características de fabricación.

Este tipo de mantenimiento se caracteriza porque no hay tiempo de descanso durante la aplicación se limita a reparaciones para habilitar el funcionamiento del motor cuando se presentan fallas es decir se basa en la ocurrencia de paros, tiene consecuencias significativas en tiempos muertos de operación del motor, reparaciones costosas y limita la realización otras actividades secundarias.

4.2.1 Frecuencias de fallas

Una falla es la interrupción del funcionamiento del motor causada por cualquier anomalía que se presente en uno o varios componentes de los diferentes sistemas integrantes del mismo es indispensable mencionar que paros forzados pueden presentarse en el motor por incumplimiento del procedimiento de arranque y paro, además por inconvenientes que repercuten en el generador y que provocan esfuerzos anormales en la unidad motriz.

Las fallas pueden ser de diferente índole, magnitud y presentarse en el arranque, durante la operación o al finalizar la jornada de trabajo, después de un cierto período de observación, seguimiento y análisis, se determina que las fallas más comunes y frecuentes en el motor que acciona el generador de 1 MW son:

Al arrancar

- Descarga repentina de baterías
- El motor no arranca y descarga humo negro
- El motor no funciona, sin descargar algún tipo de humo

En operación

- Fugas de aceite lubricante.
- Variación de consumo de combustible.
- Suciedad en inyectores.
- Calentamiento en el turbo compresor.
- Desgaste y estiramiento prematuro de faja del ventilador.
- Partículas de aceite en el escape.
- Paro repentino del motor.
- Pérdida periódica de fluido refrigerante.

4.2.2 Plan de acción inmediata

Como toda causa tiene efecto y a este le corresponde correcciones o reparaciones fáciles, rápidas o complicadas, según la magnitud de las consecuencias. Las diferentes fallas o interrupciones en el funcionamiento del motor se pueden resolver de una u otra forma siempre que se aplique la solución correcta.

Cada falla antes descrita fueron corregidas al debido tiempo, por ejemplo en la descarga repentina de baterías, se determina que es provocada por una derivación a tierra entonces se procede a cambiar un tramo de cable para solucionar el problema.

Es necesario diseñar e implementar un plan que contenga el procedimiento y guía técnica correctos que proporcione una reparación eficiente de la falla presentada, aproveche al máximo el tiempo utilizado y optimice los recursos invertidos como piezas de cambio y personal técnico empleado. Un esquema del plan de acción inmediata para aplicar el mantenimiento correctivo, se presenta en la figura 17 y un control que permite visualizar la frecuencia de fallas, aparece en la figura 18.

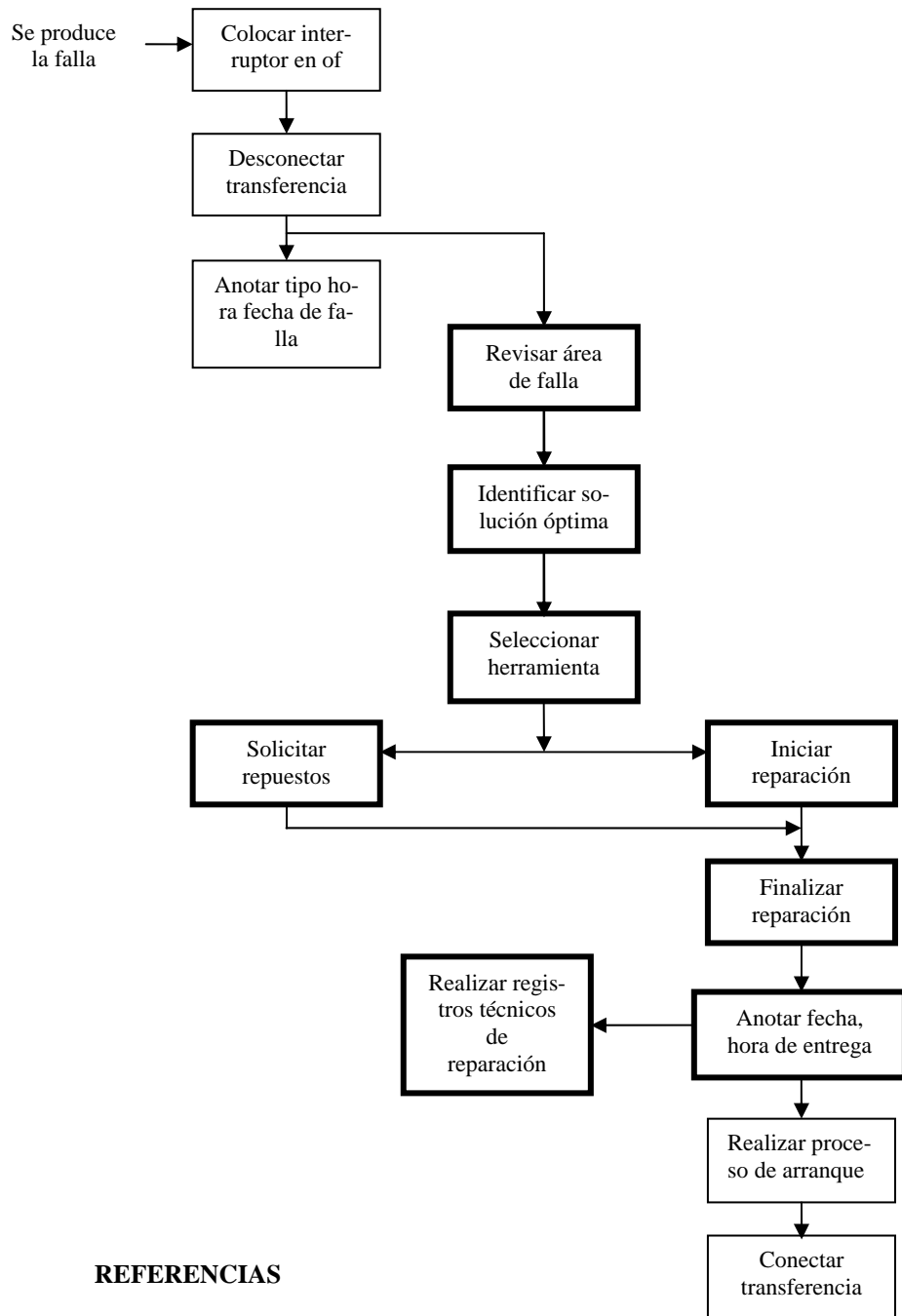
4.3 Mantenimiento preventivo

Es la acción tomada con base a una planeación sistemática que tiene como función conocer el estado de los diferentes componentes y suministros del motor para programar en los momentos más oportunos y de menos impacto a la generación de energía eléctrica, las actividades que traten de eliminar o anticipar las averías que originan las interrupciones de operación.

Lo más importante de esta función es determinar la cantidad de recursos, disponibilidad y calidad de los mismos para establecer los lineamientos a cumplir de acuerdo a parámetros o estándares establecidos propios e indicados por el fabricante con el propósito de prevenir posibles fallas y por ende demoras en el funcionamiento de otros sistemas que dependen de la operación del motor.

El mantenimiento preventivo es un proceso completo que recurre a actividades que se realizan a través de visitas, revisiones, pruebas, ajustes, servicios periódicos de limpieza y lubricación con el apoyo de técnicas específicas de planificación, ejecución y retroalimentación.

Figura 17. Esquema plan de acción inmediata.



REFERENCIAS



Actividades realizadas por el operador



Actividades realizadas por personal técnico

4.3.1 Inspección diaria de operación

Consiste en una actividad rutinaria, secuencial que requiere cuidado, seguridad y certeza en la ejecución, además es una acción combinada porque incluye la verificación del estado de elementos o puntos clave de diferentes sistemas del motor, es realizada por el operador de la máquina motriz en el arranque y durante la operación de la misma.

4.3.1.1 Inspección inicial

Se efectúa antes de arrancar el motor, tiene como función verificar el estado correcto de varios componentes para determinar el inicio o no ejecución del procedimiento de arranque y evitar con esto daño a elementos e interrupciones en la operación.

Si durante la inspección, se localiza algún inconveniente debe proceder a corregir de forma rápida la causa que impide el arranque, esto puede ser bajo nivel de aceite lubricante, fluido refrigerante o alguna fuga significativa en el sistema de inyección.

En el momento de realizar la inspección, se debe utilizar como apoyo la hoja de control que aparece en la figura 19.

4.3.1.2 Inspección en operación

Ésta tiene que realizarse con especial atención, porque debe controlar que los datos reales proporcionados en la operación del motor permanezcan dentro de un rango o parámetro establecido, además se puede visualizar la tendencia de funcionamiento de ciertos elementos para tomar decisiones inmediatas y planificar revisiones o reparaciones posteriores.

Figura 19. Inspección inicial.

FICHA INSPECCIÓN INICIAL

Motor No. _____ **Fecha** _____ **Hora** _____

Variable	Niveles			Fugas	
	Bajo	Normal	Exceso	Si	No
Aceite					
Refrigerante					
Combustible					

Nivel líquido de batería <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>B</td><td>N</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	B	N			Carga de batería <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>B</td><td>N</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	B	N		
B	N								
B	N								
Purga circuito de combustible <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; width: 40px; height: 15px;"> <tr><td> </td></tr> </table>		Trasterencia desconectada <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; width: 40px; height: 15px;"> <tr><td> </td></tr> </table>							
Alarma en panel de control <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>s</td><td>n</td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>	s	n							
s	n								

OBSERVACIONES _____

F. _____ F. _____

Operador Supervisor

B=Bajo N=Normal S=Si n=no

El operador de máquina está capacitado para actuar con certeza y eficiencia cuando, se presenten variaciones de lectura permisibles de operación, pero cuando los datos tienen sesgos fuera de control debe informar al personal técnico de mantenimiento para analizar y reparar la falla.

El registro de los diferentes datos de operación del motor, se realizan por medio del formato que aparece en la figura 20.

4.3.2 Actividades periódicas de mantenimiento

Son actividades que realiza el personal técnico de mantenimiento a cada cierto período de tiempo o al cumplir con horas especificadas de operación, estas actividades son puntuales para los diferentes sistemas integrantes del motor, consisten en revisiones, pruebas de funcionamiento, ajustes de precisión, cambio de repuestos, inspecciones de tolerancias y verificación del tiempo de componentes del motor.

4.3.2.1 Sistema de regulación

Para este sistema, se realizan actividades fundamentales en cada uno de los siguientes elementos.

Unidad de control

Realizar en términos de 750 horas, una inspección visual, limpieza de las tarjetas electrónicas con el elemento dieléctrico electroklean, apretar tornillos de entradas, salidas para evitar falso contacto y producir señales erróneas de mando; cada seis meses revisar la condición de los diferentes cables de la unidad de control.

Sensores

Con Voltímetro efectuar mediciones de señales cada 750 horas para cerciorarse que no hay variaciones en las mismas, revisar la posición correcta, la distancia de separación adecuada respecto al punto de medición; 2,500 horas chequear la condición de cables de los sensores.

Actuador

En 750 horas de operación, se debe realizar una inspección visual del movimiento de regulación, revisar el juego radial y axial del motor eléctrico de mando, en 5,000 horas comparar el ajuste de piezas de acuerdo a especificaciones, revisar el desgaste de los bushing del accionamiento mecánico y cambiarlos cada 10,000 horas.

4.3.2.2 Sistema de enfriamiento

En los componentes de este circuito de refrigeración, se efectúan las siguientes actividades.

Radiador

En este elemento, se debe realizar en 1,500 horas una limpieza de las superficies externas con aire comprimido a presión de 1.74 Kg/cm^2 para eliminar polvo o partículas adheridas que imposibilitan la transferencia de calor. También debe verificarse que el funcionamiento del tapón sea el correcto y realizar limpieza externa e interna del depósito auxiliar de refrigerante. En 2,500 horas, se revisan abrazaderas de sujeción, los conductos de entrada y salida del refrigerante.

Ventilador

En 2,500 horas de operación, se revisa la tensión de la faja de transmisión de movimiento al ventilador, si es necesario ajustar el tensor, además verificar el buen estado de las aspas para garantizar el adecuado flujo de aire y realizar limpieza de las mismas.

Para 5,000 horas, se especifica la revisión del juego radial y axial de los bushing del eje del ventilador, la condición de estiramiento y desgaste de la faja de transmisión, observar el desgaste en las poleas impulsora e impulsada. Además, se establece para 10,000 horas el cambio de bushing del eje y la faja del mismo.

Bomba de agua

Se establece, realizar a este componente las actividades en las siguientes períodos de tiempo, en 1,500 horas revisar la tensión de la faja de accionamiento, conductos de alimentación y descarga.

Cada 5,000 horas verificar, el juego axial y radial de los cojinetes de bolas, el desgaste de poleas y fajas, al término de 10,000 horas de operación desmontar la bomba para cambiar los cojinetes antes mencionados, el sello de estanqueidad, limpiar y revisar el estado del impulsor, conductos internos, eje y luego se procede a ensamblar e instalar la bomba.

Termostato

Este dispositivo es recomendable como práctica de mantenimiento preventivo reemplazarlo 10,000 horas, porque si falla en función abierta, el motor puede recalentarse o enfriarse de forma excesiva, cuando presenta problemas en posición cerrada produce un recalentamiento brusco que puede causar fisuras en la culata o agarrotamiento de pistones.

Líquido refrigerante

El medio refrigerante, debe cambiarse en términos de 5,000 horas de operación, ésta actividad es acompañada siempre de un lavado interno de todo el sistema, para esto se utiliza un líquido limpiador que remueve las incrustaciones, productos químicos indeseables y otras formaciones de depósitos; lo anterior, se hace para mantener las características de transferencia térmica y evitar deterioro de empaques propios del sistema.

Cuando, se observe a través de la inspección diaria de operación espuma en el radiador, en el tanque auxiliar o se determina contaminación prematura del líquido de refrigeración debe procederse al cambio del mismo lo antes posible.

4.3.2.3 Sistema de lubricación

El funcionamiento de este sistema, es importante mantenerlo en óptimas condiciones para lograr resultados eficientes en la operación del motor.

Carter

Se realiza una inspección visual en toda la superficie del carter cada 750 horas, en términos de 1,500 horas, se procede a desmontarlo para efectuar una limpieza, cambiar el empaque, revisar el tapón de drenado e instalarlo de forma correcta. Además verificar el funcionamiento de la válvula de ventilación y ésta debe reemplazarse al cumplir doce meses de operación.

Bomba

A este componente, se le realiza en 1,500 horas una limpieza del filtro de succión; revisión del juego axial de los engranajes en el alojamiento, verificar el espacio radial respecto a la carcasa, la holgura existente entre los engranes, el estado de la superficie de los dientes. También supervisar los tubos que conducen y retornan el lubricante de la unidad turbocompresor, comprobar la calibración de la válvula limitadora de presión en 5,000 horas. Cada 10,000 horas, se cambian los bushing instalados en los ejes de la bomba.

Aceite lubricante

Se debe cambiar el aceite después de las primeras diez horas de operación, luego realizar esta actividad cada 1,500 horas en condiciones de carga normal, también se reemplaza el filtro del lubricante y verificar alrededor de la salida del tubo de gases de escape la presencia de aceite.

Sensor

En este elemento se revisa con voltímetro en términos de 750 horas las señales generadas por este, al transcurrir 2,500 horas de operación inspeccionar la condición de los cables transmisores de señal y el ajuste de posicionamiento del sensor.

4.3.2.4 Sistema de inyección

Es importante recordar que el circuito de combustible, está compuesto por dos etapas, la primera de baja y la segunda de alta presión cada una de estas funcionan en conjunto para obtener la dosificación correcta y exacta.

4.3.2.4.1 Elementos de baja presión

Depósito de combustible

Se revisa cada 2,500 horas que la aireación de este sea la correcta, esto hacerlo a través del tapón correspondiente, en términos de 10,000 horas, se efectúa una limpieza interna para evacuar partículas adheridas y suspendidas tanto del depósito, como tubería de aspiración y retorno.

Bomba de alimentación

En 750 horas de operación, revisar el funcionamiento de los decantadores de agua y las condiciones del cebador manual; al transcurrir 2,500 horas efectuar revisiones en las válvulas de descarga y rebose, inspección de tubos de combustible calibración del indicador de presión. Cuando se cumplen 5,000 horas de operación desmontar la bomba para limpieza interna, revisión de resortes, eje impulsor, calibración de leva e impulsor y cambio de empaques; en 5,000 horas, se debe reemplazar el indicador de presión.

Filtros

El filtro (separador de agua) del sistema de combustible debe limpiarse cada 750 horas y cambiarse en 2,500 horas de operación, el filtro de línea o secundario es reemplazado en 2,500 horas de operación

4.3.2.4.2 Elementos de alta presión

Bomba de inyección

En la bomba de inyección lineal, es necesario revisar cada 750 horas la condición de adaptadores de salida de la bomba. Al cumplirse 5,000 horas de operación, se revisa la puesta a punto de la bomba y si es necesario realizar el calado respectivo, inspeccionar el desgaste en ruedas dentadas impulsora e impulsada, revisar el juego radial, axial de eje de bomba y el ajuste existente entre este y engranaje correspondiente, también hacer una prueba de dosificación de combustible, se desmonta la tubería del extremo del inyector e introduce en una probeta luego girar el cigüeñal en el sentido de operación y medir la cantidad inyectada en el tiempo de admisión del motor, esto se hace en cada inyector y el resultado de mediciones debe ser igual para todos.

En 10,000 horas de operación, se desmonta la bomba y se envía al banco de laboratorio para realizarle calibraciones de dosificación, ajuste en el variado de avance y cambio de repuestos requeridos.

Inyectores

En 750 horas, revisar la condición de los tubos conductores de combustible y adaptadores, en 2,5000 horas comprobar el funcionamiento de inyectores a velocidad de operación para esto se afloja el racor seleccionado si no ocurre disminución en la cantidad de revoluciones por minuto significa que la operación es incorrecta, esto se realiza en cada uno de los inyectores.

En términos de 10,000 horas, se desmontan los inyectores y envían al banco de laboratorio para pruebas de dosificación, limpieza interna, cambio y calibraciones de piezas mecánicas.

4.3.2.5 Revisiones de pistones, anillos y bielas

Pistones

En cada uno de los pistones del motor, debe hacerse en términos de 10,000 horas de operación una limpieza de la parte superior para eliminar residuos carbonosos, esto favorece el espacio disponible de la cámara de combustión; además es indispensable comprobar la carrera del pistón al medir la distancia recorrida entre el punto muerto superior e inferior y efectuar una inspección visual de la superficie para verificar la inexistencia de áreas dañadas, deformaciones o colores indeseables.

Anillos

Es necesario, realizar 10,000 horas de funcionamiento una remoción de la carbonilla del interior del cilindro y área de los anillos para prevenir fisuras en estos últimos, también se comprueba que el ajuste de precisión de anillos de compresión y lubricación estén en el rango especificado, efectuar el cambio de anillos al transcurrir dos años de trabajo.

Bielas

En estas piezas cada 10,000 horas, se realiza revisión del ajuste entre pistón y bulón, chequear la condición del seguro instalado en este último, comprobar el juego lateral, radial y el torque de los tornillos de sujeción.

4.3.2.6 Revisión de eje cigüeñal y árbol de levas

Eje cigüeñal

Es la pieza más robusta y soporta los esfuerzos de torsión durante toda la operación del motor, es importante realizar actividades de prevención para asegurar las condiciones de funcionamiento del cigüeñal, cada 10,000 horas debe revisarse el juego radial, axial en los extremos del eje, el alineamiento del acople motor generador, inspeccionar el estado de la rueda dentada del volante, comprobar la inexistencia de desbalance y las condiciones de los amortiguadores de vibración del cigüeñal. Además cuando existan reparaciones mayores, se revisan los contrapesos, superficies de alojamiento de bielas, conductos de lubricación, muñones y se cambian los cojinetes esto a las 20,000 horas de operación.

Árbol de levas

En períodos de 2,500 horas de operación revisar el tiempo de los ejes de levas, la condición de las ruedas dentadas tanto impulsora como impulsada, inspeccionar la superficie de las levas para encontrar desgaste, deformaciones o fisuras, comprobar el juego radial, axial del eje y verificar el ajuste de retroceso del engranaje del árbol; el cambio de cojinetes, se hace cada 15,000 horas.

Válvula de admisión y escape

Estos dispositivos deben ajustarse o calibrarse cada 2,500 horas, además inspeccionar en este tiempo las condiciones de funcionamiento de los resortes la parte superior del vástago. En términos de 5,000 horas revisar, el asiento que hace el sello, la cabeza que esté libre de picaduras, fisuras, recalentamientos y chequear el desgaste del cuerpo y guías de las válvulas.

4.3.2.7 Control de mantenimiento

Es un elemento clave para administrar de forma correcta el programa de mantenimiento implementado, ayuda a precisar las actividades de inspección, revisión, ejecución a intervalos cortos, medianos o largos.

Entre los propósitos más importantes del control de mantenimiento, es establecer el historial de funcionamiento, parámetros permisibles, datos especificados por el fabricante y valores eficientes de operación. Esta fase de mantenimiento preventivo debe fundamentarse, desarrollarse y ejecutarse en base a recopilación de información verídica en operación, personal técnico calificado, soporte económico, seguimiento preciso de actividades y retroalimentación periódica confiable para obtener mejoras en la aplicación de mantenimiento y resultados eficientes.

4.3.2.7.1 Fichas de registro

Es un medio que se utiliza para controlar de forma adecuada las diferentes actividades de mantenimiento, los componentes, sistemas y el motor como unidad global. Los registros pueden ser una base de datos o documentos tipo formato entendibles, interpretativos, fáciles de llenar y conservar toda clase de información útil para la operación constante del motor.

Ficha técnica

Contiene la identificación del motor Diesel, convirtiéndose en la fuente inicial de información y debe contener como mínimo los siguientes datos:

- Número que identifique la máquina.
- Especificaciones técnicas como marca, modelo, serie, capacidad, cantidad de cilindros.

- Fabricante.
- Representante comercial.

El formato de la ficha técnica del motor, se puede visualizar en la figura 21.

Figura 21. **Ficha técnica del motor**

DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO		
Ficha No.	Fecha	Código del motor
Motor No.	Modelo	Serie
No. Cilindros	Configuración	Orden de encendido
Voltaje	Amperaje	RPM
No. Turbo compresores	Tipo ventilador	Bomba inyección
Marca	Año fabricación	Fecha instalación
Fabricante	Representante comercial	
OBSERVACIONES		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> <p>F. _____ Supervisor mantenimiento</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>F. _____ Jefe mantenimiento</p> </div> </div>		

Ficha de actividades

En ésta, se anota la fecha, causas de las órdenes de trabajo generadas, horas utilizadas, repuestos, accesorios empleados, descripción de las actividades realizadas y observaciones preventivas que el caso amerite.

El registro de las diferentes actividades, es fundamental para el control y efectividad del mantenimiento porque el análisis respectivo de la misma proporciona componentes a inspeccionar, períodos de revisión, datos técnicos, calidad y cantidad de repuestos a utilizar. El formato de una ficha de actividades, se muestra en la figura 22.

4.3.2.7.2 Órdenes de trabajo

Contiene las distintas actividades de mantenimiento para que el motor funcione sin inconvenientes, una orden de trabajo pueden generarse a consecuencia de revisiones periódicas, hoja de control de inspección en operación, control de registro de actividades y recomendaciones especificadas por el fabricante.

La ejecución del trabajo indicado en la orden, debe hacerse en la fecha y hora correspondiente para evitar interrupciones, atrasos o alteraciones tanto en la planificación de mantenimiento como en el proceso de producción. En toda orden de trabajo es conveniente incluir los siguientes datos:

- Número correlativo
- Trabajo a realizar
- Materiales o repuestos a utilizar
- Fecha de elaboración
- Fecha y hora de ejecución
- Observaciones
- Nombre de mecánico responsable
- Firma de mecánico, supervisor y jefe de mantenimiento

La estructura de una orden de trabajo, se puede observar en la figura 23.

Figura 23. Orden de trabajo

DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO			
Motor No.	Código	Orden No.	
Modelo	Serie	Marca	
Fecha de orden _____	Prioridad	Urgente	<input type="checkbox"/>
Fecha de ejecución _____		Normal	<input type="checkbox"/>
Hora establecida _____		Preventivo	<input type="checkbox"/>
Técnico asignado _____	Área o sistema _____		
Tiempo estimado _____	Tiempo utilizado _____		
Trabajo por efectuar			
Repuestos o materiales a utilizar			
OBSERVACIONES			
f. _____		f. _____	
Personal técnico		Supervisor de mantenimiento	

CONCLUSIONES

1. Los motores Diesel se utilizan en diversas áreas de trabajo, una de las aplicaciones la constituye el medio de accionamiento mecánico para la generación eléctrica, esto requiere de una operación eficiente del motor para evitar variaciones en la generación de energía eléctrica.
2. La operación correcta del sistema de lubricación como el de enfriamiento proporcionan las temperaturas adecuadas de funcionamiento y además permiten que se logre el ajuste de precisión establecido entre piezas en movimiento, esto garantiza la combustión correcta y el aprovechamiento máximo de la energía del combustible.
3. El cumplimiento de parámetros especificados para la operación del motor como velocidad de rotación, temperatura, dimensiones de precisión proporcionan mejoras en la eficiencia de operación del motor de combustión interna, en este caso, se logra aumentar de 66.70 a 75.31 % la eficiencia en el funcionamiento global del motor.
4. La realización de las actividades periódicas de mantenimiento y el cumplimiento de especificaciones proporcionadas por el fabricante conllevan a una operación del motor sin interrupciones, prolongar la utilidad de los diferentes mecanismos, aprovechar los recursos invertidos y obtener el óptimo rendimiento en el funcionamiento.

RECOMENDACIONES

1. Es conveniente que en la realización de las diversas actividades de mantenimiento, se utilicen repuestos que reúnan las condiciones técnicas y los requerimientos de calidad para no alterar los períodos de cambio en la planificación del mantenimiento.
2. Realizar en términos de un año en la planificación del mantenimiento del motor Diesel, la actualización y/o retroalimentación de actividades, procedimientos y análisis de aspectos técnicos.
3. Proporcionar al personal técnico encargado de efectuar la operación y las actividades de mantenimiento en el motor de combustión interna, la capacitación necesaria sobre procedimientos de arranque y dosificación de carga, funcionamiento del sistema de enfriamiento, regulación, inyección, lubricación y los respectivos registros de control del mantenimiento preventivo para obtener productividad en cada trabajo realizado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bickel, Jon y Ricardo Früh. **Control de emisión de gases**. 3ª ed. 2000. 25 pp.
2. Chilton. Manual de reparación y mantenimiento. 2ª ed. España: Editorial Océano, 2001.
3. Marroquín Andrade, Nino Rodolfo. Diseño para la instalación e implementación del sistema de monitoreo de vibraciones para un turbo generador de 120,000 kilowatts. Tesis Ing. Mec. Ind. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000.
4. Obert, Edgard F. **Motores de combustión interna**. 7ª ed. España: Editorial Continental Reverté, S. A., 1992. 503 pp.
5. Palacios Colindres, Byron Giovanni. Plan de mantenimiento para los sistemas de inyección en los motores de combustión interna Diesel de los vehículos al servicio del centro militar. Tesis Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000.
6. Severns, W. H. y otros. **Energía mediante vapor, aire o gas**. 6ª ed. México: Editorial Reverté, S. A., 1992. 503 pp.
7. Tuchan Flores, Carlos Abel. Análisis del funcionamiento de un motor de 8 HP de arranque retráctil monocilíndrico de cuatro tiempos cuya potencia mecánica producida es utilizada en un generador eléctrico de 4 KW. Tesis Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1999.
8. Zuleta García, Alirio Luciano. Diseño de anclaje y propuesta de un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria de la empresa de calzado Garci S. A. Tesis Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 120 pp.