

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO MECÁNICO.

TEMA:
“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN LAS
UNIDADES DE GENERACIÓN A GAS DE 1200 KW Y DIÉSEL DE 910 KW”

AUTOR:
HENRY PAÚL DÍAZ CHIGUANO

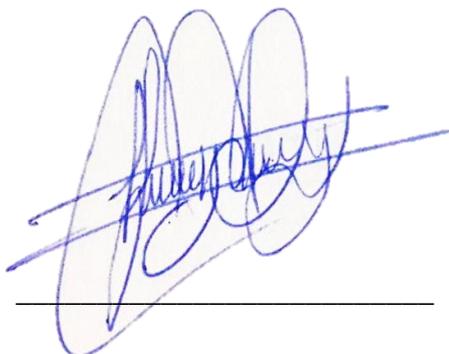
DOCENTE TUTOR:
LUIS FERNANDO TOAPANTA RAMOS

Quito, octubre del 2021

CESIÓN DE DERECHOS

Yo, Henry Paúl Díaz Chiguano, con cédula de identidad N° 171974515-8 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud que soy autor del trabajo de titulación intitulado: “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN LAS UNIDADES DE GENERACIÓN A GAS DE 1200 KW Y DIÉSEL DE 910 KW”, mismo que fue desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la misma facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor, reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Henry Paúl Díaz Chiguano

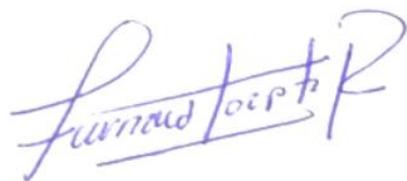
CI: 171974515-8

Quito, octubre del 2021.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación, “ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA TÉRMICA EN LAS UNIDADES DE GENERACIÓN A GAS DE 1200 KW Y DIÉSEL DE 910 KW”, realizado por Henry Paúl Díaz Chiguano, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, octubre del 2021.



Luis Fernando Toapanta Ramos

CI: 172111375-9

DEDICATORIA

Este presente trabajo está dedicado:

A mis padres Segundo Díaz y María Chiguano quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una meta más, gracias por inculcarme un gran ejemplo en mí de responsabilidad, lucha, esfuerzo y valentía que han sido aportes muy importantes para mi formación como profesional y como ser humano.

A mis hermanos Diego y William por su comprensión, cariño y apoyo categórico, durante este proceso, por permanecer conmigo en todo instante mil gracias. A toda mi familia porque sus recomendaciones y frases de aliento hicieron de mí un mejor hombre y de una u otra forma me custodian en todos mis sueños y metas.

Finalmente, quiero dedicar esta tesis a todos y todas las personas allegadas a mí, por apoyarme cuando más las requiero, por extender su mano en momentos dificultosos y por la amistad brindado cada día, de verdad mil gracias.

Henry Díaz

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana por ofrecer una formación técnica y cristiana que imparte a sus estudiantes, promovida en valores, adjudicada por el grupo de docentes y personal administrativo.

A la carrera de Ingeniería Mecánica, a través de todos sus docentes en el lapso de cada semestre proveer los conocimientos precisos para nuestra formación profesional.

Al Ingeniero Fernando Toapanta, MSc., por guiarme y apoyarme en mi vida estudiantil y en el arduo proceso de titulación, por compartir su tiempo y sus conocimientos y ser un amigo más que un docente.

A mi familia por todo lo que han hecho por mí en todo este tiempo transcurrido y por su apoyo incondicional siendo el motor para superar los inconvenientes que han existido para el cumplimiento de mis metas; además a mi compañero y amigo Patricio con quien formamos un equipo para lograr esta meta profesional.

Henry Díaz

ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
NOMENCLATURA	x
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I.....	3
ESTADO DEL ARTE Y ASPECTOS TEÓRICOS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL	3
1.1 Estado del arte	3
1.2 Aspectos principales de la indagación.....	5
1.2.1 Leyes termodinámicas	5
1.2.2 Motor de combustión interna.....	9
1.2.3 Ciclo Otto.....	10
1.2.4 Ciclo Diésel.....	11
1.2.5 Reacciones de un motor de combustión interna	13
1.2.6 Ciclo Otto real.....	14
1.2.7 Ciclo Diésel real.....	15
1.2.8 Combustibles	16
1.2.9 Procesos de transferencia de calor	17
1.3 Conclusiones del capítulo.....	18
CAPÍTULO II	20

ESTUDIOS PRELIMINARES PARA LA EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL.....	20
2.1 Motor de combustión interna	20
2.2 Parámetros del motor de combustión interna	21
2.2.1 Cilindrada unitaria	21
2.2.2 Cilindrada total	22
2.2.3 Relación de compresión.....	22
2.2.4 Volumen total del cilindro	23
2.2.5 Presión media efectiva	23
2.2.6 Carrera del pistón.....	23
2.2.7 Régimen térmico directo.....	24
2.2.8 Consumo de combustible.....	24
2.2.9 Flujo de masa de combustible.....	24
2.2.10 Calor liberado por el combustible.....	25
2.2.11 Pérdida de calor por los gases de escape	25
2.2.12 Flujo de gases.....	26
2.2.13 Calor perdido en sistema de refrigeración	26
2.2.14 Balance energético	27
2.2.15 El rendimiento del sistema.....	27
2.2.16 Calor de entrada Otto	27
2.2.17 Calor de salida Otto	28
2.2.18 Calor de entrada diésel.....	28
2.2.19 Calor de salida diésel	28
2.2.20 Cantidad de trabajo en un motor de combustión interna	29
2.2.21 La proporción entre las capacidades caloríficas	29
2.2.22 Calores cedidos al ambiente	29

2.3 Conclusiones del capítulo.....	30
CAPÍTULO III.....	31
ANÁLISIS PARA LA EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL.....	31
3.1 Análisis de la eficiencia y consumo de combustible de las motos generadores.....	31
3.2 Análisis termodinámicos del sistema.....	32
3.3 Toma de datos.....	33
3.4 Análisis térmico de los motores.....	34
3.4.1 Motor Waukesha.....	35
3.4.2 Motor Caterpillar.....	38
3.5 Conclusiones del capítulo.....	42
CAPÍTULO IV.....	43
ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL.....	43
4.1 Costo de mantenimientos.....	43
4.1.1 Costo preventivo moto generador Waukesha.....	44
4.1.2 Costo preventivo moto generador Caterpillar.....	47
4.2 Conclusiones del capítulo.....	49
CONCLUSIONES.....	50
RECOMENDACIONES.....	52
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo aplicación primera de la termodinámica [11].....	7
Figura 2. Esquema de un ciclo térmico de un central de vapor	8
Figura 3. Ciclo Otto de trabajo teórico del motor de cuatro tiempos	11
Figura 4. Diagrama presión volumen ciclo diésel	13
Figura 5. Motor de combustión interna.....	14
Figura 6. Trabajo se ejecuta a través de los procesos en el ciclo Otto real	15
Figura 7. Diagrama presión volumen de motores diésel real	16
Figura 8. Motor de combustión interna	20
Figura 9. Parámetros principales del motor de combustión interna	21
Figura 10. Termómetro visual FLUKE	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica de las motos generadores Waukesha [45].....	31
Tabla 2. Ficha técnica de la moto generador Caterpillar [46].....	32
Tabla 3. Ficha técnica de pruebas de moto generador Waukesha.....	34
Tabla 4. Ficha técnica de pruebas de moto generador Caterpillar	34
Tabla 5. Costos y horas de mantenimientos de la moto generador Waukesha	43
Tabla 6. Costos y horas de mantenimientos de la moto generador Caterpillar.....	44
Tabla 7. Costos de consumibles preventivos del moto generador Waukesha.....	44
Tabla 8. Costos de consumibles predictivo de la moto generador Waukesha	46
Tabla 9. Costos de consumibles correctivos de la moto generador Waukesha.....	46
Tabla 10. Costos de consumibles preventivos del moto generador Caterpillar	47
Tabla 11. Costos de consumibles predictivo de la moto generador Caterpillar....	48
Tabla 12. Costos de consumibles correctivos de la moto generador Waukesha...	49

NOMENCLATURA

V_h = Volumen del cilindro (Cilindrada unitaria) (m^3)

D = Diámetro del cilindro (m)

s = Carrera (m)

V_H = Cilindrada total (m^3)

i = Número de cilindros

ε = Relación de compresión

V_c = Volumen de la cámara de combustible (m^3)

V_a = Volumen total del cilindro (m^3)

PME = Presión media efectiva (kPa)

r = Radio del cigüeñal (m)

RTD = Régimen térmico directo (kJ/h)/kW

PC = Poder Calórico del combustible (kJ/kg)

Pb = Potencia bruta (kW)

ρ = densidad del combustible (kg/m^3)

q = Caudal del combustible (m^3/h)

\dot{m}_c = Flujo másico de combustible (kg/s)

ρ = Densidad específica de combustible (kg/m^3)

V = Volumen de combustible (m^3)

Δt = Tiempo de flujo (s)

\dot{Q}_c = Calor liberado por el combustible (kW)

PCI= Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

\dot{Q}_g = Calor liberado por los gases de escape (kJ/s)

\dot{m}_g = Flujo másico de los gases (kg/s)

\bar{c}_p = Calor específico a presión constante promedio de los gases (J/kg)

T_{out} = Temperatura de salida (°C)

T_{in} = Temperatura ambiente (°C)

\dot{m}_{ar} = Flujo de aire (kg/s)

\dot{m}_{comb} = Flujo másico de combustible (kg/s)

\dot{Q}_A = Calor del radiador (kW)

\dot{m}_A = Flujo de agua en radiador (kg/s)

\bar{c}_A = Calor específico de agua (kJ/kg°C)

T_s = Temperatura de salida del agua (°C)

T_e = Temperatura de entrada del agua (°C)

\dot{Q}_p = Energía útil en el motor (kW)

\dot{Q}_c = Calor liberado por el combustible (kW)

\dot{Q}_g = Calor de los gases de escape (kW)

\dot{Q}_A = Calor del agua de enfriamiento (kW)

\dot{Q}_{k-c} = Calor perdido por convección y conducción (kW)

Q_H = Calor de entrada (Btu/lbm)

C_v = Calor específico (kJ/kg·°K)

T = Temperatura (°C, °K)

Q_L = Calor de salida (Btu/lbm)

C_p = Calor específico (kJ/kg·°K)

W_{neto} = Trabajo realizado en el ciclo (kJ)

W_{salida} = Trabajo que da el ciclo (kJ)

$W_{entrada}$ = Trabajo que da al inicio el ciclo (kJ)

Y = proporción entre las capacidades caloríficas

ΣQ = Sumatoria de calor evacuado al ambiente

$\Sigma H_{entrada}$ = Sumatoria de entalpías que salen del sistema

ΣH_{salida} = Sumatoria de entalpías que entran al sistema

RESUMEN

El vigente proyecto radica en el estudio de las eficiencias térmicas de los motores de combustión interna, dada por el ciclo termodinámico Diésel y Gas razón por la cual los parámetros termodinámicos, se pueden obtener en la operación normal del motor, está íntimamente ligado al tiempo de vida útil del mismo así como al mantenimiento de operación continua que esta mantenga, las eficiencias de los moto generadores Waukesha que genera una potencia de 1200 kW, con 12 cilindros en V su combustible es el GLP y su principio de funcionamiento es de cuatro tiempos Ciclo Otto, la otra unidad generador Caterpillar consta de 20 cilindros la misma que genera una potencia de 746 kW, su principio de funcionamiento además del combustible es el diésel, con la ayuda de tableros y dispositivos de control que se encuentran instalados en las unidades moto generadores, se puede calcular la eficiencia a través del análisis de datos obtenidos en su funcionamiento diario, Waukesha una eficiencia de 29,5% con un flujo másico de gas de 0,75 kg/s la temperatura promedio del ambiente es de 30,5 °C, en el caso de la unidad de generación Caterpillar se obtuvo una eficiencia 25,6% con un flujo másico de 0,985 kg/s la temperatura promedio de ambiente de labor es de 31 °C.

Los resultados fueron de gran utilidad para el análisis y evaluación de las unidades de generación, siendo de gran ayuda estos resultados para el proceso de producción y refinación de crudo de petróleo.

Palabras claves: moto generador, eficiencia, diésel, gas licuado de petróleo, potencia, ciclo Otto, ciclo diésel.

ABSTRACT

The current project lies in the study of the thermal efficiencies of internal combustion engines, given by the Diesel and Gas thermodynamic cycle, which is why the thermodynamic parameters can be obtained in the normal operation of the engine, it is closely linked to the operating time. useful life of the same as well as the maintenance of continuous operation that it maintains, the efficiencies of the Waukesha motor generators that generates a power of 1200 kW, with 12 cylinders in V its fuel is LPG and its operating principle is four-stroke Cycle Otto, the other Caterpillar generator unit consists of 20 cylinders, the same that generates a power of 746 kW, its operating principle in addition to fuel is diesel, with the help of panels and control devices that are installed in the motor-generator units , you can calculate the efficiency through the analysis of data obtained in its daily operation, Waukesha an efficiency of 29.5% with a gas mass flow of 0.75 kg / s the average ambient temperature is 30.5 ° C, in the case of the Caterpillar generation unit an efficiency of 25.6% was obtained with a mass flow of 0.985 kg / s the average working environment temperature is 31 ° C.

The results were very useful for the analysis and evaluation of the generation units, these results being of great help for the process of production and refining of crude oil.

Keywords: motor generator, efficiency, diesel, liquefied petroleum gas, power, Otto cycle, diesel cycle.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se lleva a cabo a través de un proceso de trabajo y un análisis, el cual se proporcionó la información de relevancia para su desempeño, a la vez, este proyecto se realizó con el fin de conservar unidades de generación y evaluar su eficiencia y consumo de combustible, mediante los cálculos del ciclo termodinámico, un moto generador es muy importante en la industria donde es muy útil su energía que entrega a la industria para el proceso de generación y extracción de crudo.

La conservación de las unidades va acorde a su mantenimiento y manipulación del mismo obteniendo un resultado favorable y así conservando su vida útil y disminuyendo costos de energía para una mayor producción y aportación a las zonas industriales.

Es así que, el capítulo I aborda la historia de los motos generadores y el uso en diferentes puntos de la industria, conjuntamente con la importancia de que ésta sea una unidad de generación que transforma de la parte mecánica a eléctrica y así transferir a equipos eléctricos y electrónicos para su proceso de crudo de petróleo.

El conglomerado de ecuaciones en el capítulo II, son una compilación de varios textos para lograr el análisis matemático. En él se puede encontrar todos los términos necesarios para los cálculos de las diferentes variables pertinentes a procesos de ciclos termodinámicos de manera general.

Conjuntamente, el capítulo III detalla los cálculos, tomando en cuenta los datos proporcionados y especificaciones necesarias de los motores, por lo tanto se calcula su eficiencia y consumos de combustibles, análisis termodinámicos, y cálculos respecto a su funcionamiento que atraviesan las máquinas.

Los valores y costos del proyecto en el capítulo IV son divididos por horas de mantenimiento y tiempo de funcionamiento para una mayor comprensión del análisis económico, detallando de una manera que la industria compare su rentabilidad de las motos generadoras.

ANTECEDENTES

El consumo de energía es un problema que va en incremento en la actualidad a causa del crecimiento poblacional a nivel mundial, los sectores que demandan más energía en la actualidad es el sector hidrocarburífero, ya que, en los lugares donde se extrae la materia prima se ubican en lugares remotos donde no existe el acceso fácil a la energía eléctrica producida por las hidroeléctricas, ya que un tendido eléctrico para el funcionamiento de las maquinarias sería demasíadamente costoso, es aquí donde se opta por la producción de energía mediante generadores que funcionan a base de hidrocarburos, las moto generadores que funcionan con diésel emiten una contaminación de CO₂ de hasta un 13,4 % más por litro de combustible induciendo una mayor cantidad de contaminantes e infectando el medio ambiente y la salud de los operadores o aumentando el riesgo químico para los operadores.

Es por esta razón que se desarrollan investigaciones que analizan el rendimiento térmico de los diferentes tipos de motos generadores que se encuentran varios años de funcionamiento en la industria, de esta manera poder analizar su vida útil y verificar su rentabilidad, este proyecto se realizó con el fin de conservar unidades de generación evaluar su eficiencia y consumo de combustible, mediante los cálculos del ciclo termodinámico para las motos generadores es muy importante en la industria donde son de gran demanda de su energía que entrega a la industria para el proceso de generación y extracción de crudo, la conservación de las unidades de generación va acorde a su mantenimiento y manipulación de los mismos para obtener un resultado favorable y así conservar su vida útil y disminuir costos de energía para una mayor producción y aportación a las zonas industriales.

Mediante el análisis de los datos se puede localizar las partes que más influyen en el funcionamiento y así mejorar la eficiencia térmica.

Se dispone únicamente de medidores de gas en ciertas unidades con lo cual se mide solo el consumo de combustible de estas unidades.

No se dispone de datos actualizados de eficiencia de las unidades para determinar el comportamiento de las mismas a lo largo de su vida útil

Los planes de mantenimiento preventivos y predictivos de las unidades de generación se realizan en función a los horómetros de las unidades, es decir no se consideran datos relacionados con la eficiencia o condición de los sub-sistemas que componen el equipo de generación.

Objetivos

Objetivo General

Analizar y evaluar la eficiencia térmica en las unidades de generación a gas de 1200 kW y diésel de 910 kW de ENAP SIPEC

Objetivos específicos

- Determinar las unidades de consumo de gas y diésel bajo las condiciones de operación en ENAP SIPEC
- Analizar la operación energética de las unidades de consumo siguiendo lineamientos de CENACE y ARCONEL
- Evaluar la operación energética y la rentabilidad de las unidades de consumo de gas y diésel en ENAP SI

CAPÍTULO I

ESTADO DEL ARTE Y ASPECTOS TEÓRICOS DE LA EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL

El presente capítulo hace una regresión para ofrecer información válida del análisis y evaluación de la eficiencia térmica en las unidades a gas y diésel, enfocándose en los consumos de combustibles y generación energética por motores Otto y Diésel, que trabajen con este tipo de unidades de generación.

El objetivo de este capítulo es entender los tipos de generadores y sus combustibles que consumen, que eficiencia brindan, elementos fundamentales y estudios en la industria, de igual manera el manejo en industrias petroleras cuentan con una alta demanda de energía eléctrica para poner en marcha los equipos, maquinarias y accesorios eléctricos por lo cual se proponen utilizar moto generadores con una eficiencia mayor y que su mantenimiento no sea costoso y se reduzca la contaminación al medio ambiente.

1.1 Estado del arte

Los motores de combustión interna serán la principal potencia para los buques, vehículos pesados y plantas termoeléctricas en el futuro como lo es hoy en día. Encontrar la manera de reducir el impacto ambiental y producir energía más limpia es la tarea principal de los fabricantes de motores [2].

Los motores con generadores eléctricos llamados moto-generadores están compuestos de un sistema de dos partes principales: el motor, y el generador eléctrico, estos trabajan vinculados y son capaces de convertir energía [3]. Este conjunto de partes inician un proceso, en el cual convierten la energía química obtenida de un combustible en, energía solar, calor residual industrial, electricidad [4], y es liberada mediante un motor de combustión interna la cual transforma en energía mecánica, y a su vez es convertida en energía eléctrica por un generador o alternador, por inducción electromagnética, obteniendo para un fin propuesto [5].

El primer motor expuesto de combustión interna a pistones, un invento más

utilizado en la actualidad, este proceso utilizaba el autoencendido inventado por Rudolf Diésel, fue un desarrollo en conjunto, con la empresa Maschinenfabrik Augsburg en 1897 que más tarde se conoció como el proceso diésel [3].

Existe un conflicto de críticas que tienen los motores diésel, todavía producen alrededor de un 15% menos de dióxido de carbono que los motores de gasolina, equivalentes por su bajo consumo de combustible. Los motores a diésel se convierten en una parte esencial del proceso de los ciclos internos, para evitar la contaminación de los objetivos climáticos [3].

Los motores de Diésel son de cuatro tiempos más conocidos como ciclo Otto diésel, estos poseen un poder calorífico muy alto, existe varios tipos según la distribución y números de los pistones [6]. Un motor diésel fue diseñado para trabajar a altas temperaturas, en el caso si la temperatura disminuye o es inferior, a las especificaciones técnicas se necesita el apoyo de calentadores que se implementan en cada motor [7]. El combustible diésel tiene como característica no ser explosivo y es de fácil almacenaje [8] [9].

El uso de vehículos de gas natural (GNV), fue visto en Italia por primera vez aproximados de la década de 1930 como alternativa de vehículos a gasolina [10]. El gas es un combustible volátil por lo cual no pueden estar en espacios cerrados [11].

Los motores de gas son muy comunes en la industria de generadores eléctricos estos no disponen de un alto poder calorífico, obteniendo de una combustión limpia este tipo de combustible no se degrada con el tiempo en tanques de almacenamiento adaptados para este combustible [6].

Especialmente después de la crisis energética a mediados de 1970, los GNV son promovidos por gobiernos, tanto desarrollados como países en desarrollo, como una nueva forma limpia a la gasolina y vehículos diésel, también para reducir la dependencia del petróleo extranjero [10]. Las normas que controlan estas emisiones, generadas por los automóviles es cada vez más estricta, por la crisis y problemas ambientales que se vienen dando en el transcurso de los años [12].

A Europa se introducirá en el 2019 el estándar de emisiones de escape más estricto del mundo. Este nuevo escape estándar fue presentado por la Unión Europea en

septiembre de 2016 [13].

Se conoce que el motor de explosión (CI) es el objeto de mayor consumo de petróleo, como el gas natural (GN) una alternativa de combustible limpio común para los motores de automóviles [10].

El balance de energía del motor (CI), funciona a diferentes cargas y relaciones de combustible [10]. La eficiencia térmica máxima se obtiene del freno, es el resultado de una compensación, entre la reducción de las pérdidas de calor, con el aumento del coeficiente de exceso de aire y el aumento incompleto combustión [14].

Según estudios se encontró que reciclar el calor residual del motor y dejar trabajar a la máquina bajo condiciones de labor específicas son dos formas de mejorar la eficiencia total de la máquina de combustión interna [14].

Combustibles elementos más conocidos por su nombre técnico hidrocarburos los cuales poseen en su composición fundamental química el carbono e hidrógeno, además las cantidades de oxígeno, nitrógeno y azufre son variables. Partiendo de este principio se puede obtener hidrocarburos como la gasolina, diésel y gas licuado del petróleo (GLP) [15].

1.2 Aspectos principales de la indagación

Las cuantificaciones generales disponibles para determinar y conseguir la alternativa de energía mecánica en energía eléctrica dan mucha jerarquía en la exploración, que permitirán concretar las situaciones y ecuaciones empleadas en el estudio.

1.2.1 Leyes termodinámicas

Las leyes generales básicas de la ciencia térmica se presentan y discuten para la aplicación a análisis del volumen de control finito. Estas son leyes de conservación para masa, impulso y energía y una ley de equilibrio para entropía. Las aplicaciones a sistemas de masa fija y dispositivos de flujo constante, se muestran junto con las leyes especiales adicionales que rigen el comportamiento de sustancias puras como formulaciones de estado. Otras leyes auxiliares se indican como información necesaria de las materias de la transferencia de calor y la mecánica de fluidos. Se discuten los métodos reversibles e irreversibles, y se muestran las limitaciones

impuestas por las leyes generales sobre procesos y comportamiento del dispositivo. Se presta especial atención al posible trabajo que se puede extraer de un sistema o proceso propuesto como límite teórico utilizado como referencia para sistemas reales [25].

Las leyes de la termodinámica tanto la primera como la segunda salieron de forma simultánea a mediados del año 1850, los cuales sobresalen los trabajos de William Rankine, Rudolph Clausius y Lord Kelvin, donde fue utilizado en una publicación de Lord Kelvin en 1849 el termino termodinámica, por otra parte, William Rankine, educador de la institución de Glasqow, elaboro en 1859 un documento sobre dicha indagación sobre el tema [11] [15] [16] [17].

El principio de la termodinámica o la primera ley, es únicamente un enunciado el cual nos explica sobre la conservación de la energía, mantiene que “la energía es una propiedad termodinámica” mientras tanto la segunda ley nos confirma que “la energía posee calidad como cantidad, mientras que en los procesos reales que actúan en la vida cotidiana suceden hacia el punto más débil de la calidad de la energía” [11] [15] [16] [17].

El enunciado de la primera ley confirma que la energía es inútil de crear e imposible de destruir, la cual se puede transformar de una representación a otra, este enunciado nos deja claro para el estudio de las similitudes entre múltiples conveniencias de interacción de la energía. Por su parte el enunciado sobre la segunda ley, confirma que un trabajo ocurre en una dirección específica y no en varia. Cualquier proceso es imposible que suceda a menos que interfiera la primera y la segunda ley de la termodinámica [11] [15] [16] [17].

De acuerdo con lo expuesto de la primera y segunda ley, el trabajo se puede cambiar fácilmente en varias formas de energía, la dificultad de cambiar en trabajo es muy complicado, como se explica en el siguiente ejemplo: el trabajo mecánico que sucede sobre la flecha que se observa en la figura 1, se transforma en energía interna del agua, la cual sale como a base del agua, el proceso de intercambiar no funcionara, de esto se puede concluir que el proceso o trabajo cambia en calor directamente en su totalidad, para cambiar este proceso es necesario la intervención de equipos aptos para este tipo de trabajo, que son denominados máquinas térmicas

[11] [15] [16] [17].

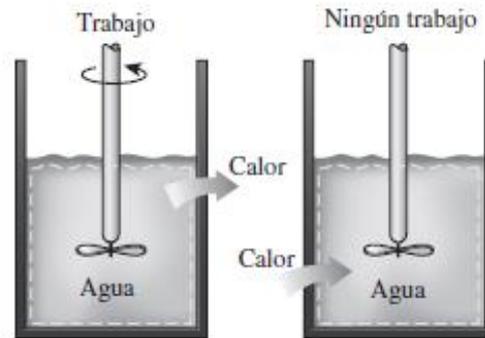


Figura 1. Ejemplo aplicación primera de la termodinámica [11].

Las máquinas térmicas prorrogan bastante entre ellas, de esta manera es único especificar a cada una de ellas de la siguiente manera [15]:

- Toman calor de un origen a una alta temperatura.
- Cambia un porcentaje del calor adquirido en trabajo
- Impugnan el calor a un lugar más débil que dispone baja temperatura
- Manejan mediante un ciclo.

Como se denomina la expresión máquina térmica que es usada periódicamente en un extenso donde son incluidos mecanismos que generan trabajo que estas no funcionan mediante un ciclo termodinámico, los equipos que están conexas con la combustión interna, estas son las turbinas a gas y motores de explosión ingresan en este grupo, ya que los mismos manejan un ciclo mecánico y no involucran a la termodinámica, ya que los gases generados en la combustión no experimentan todo el ciclo completo, los gases no son enfriados a su temperatura originaria y si purgados y son cambiados por la mezcla fresca de combustión a la última etapa del ciclo [15] [16] [17].

Existe una mejor definición de maquina térmica con un dispositivo generador de trabajo y este es ajustable en las centrales eléctricas de vapor, más conocidas como máquinas de combustión externa. En la figura 2 se muestra un esquema simplificado de la central donde se muestran las cantidades que componen un ciclo termodinámico [15] [16] [17].

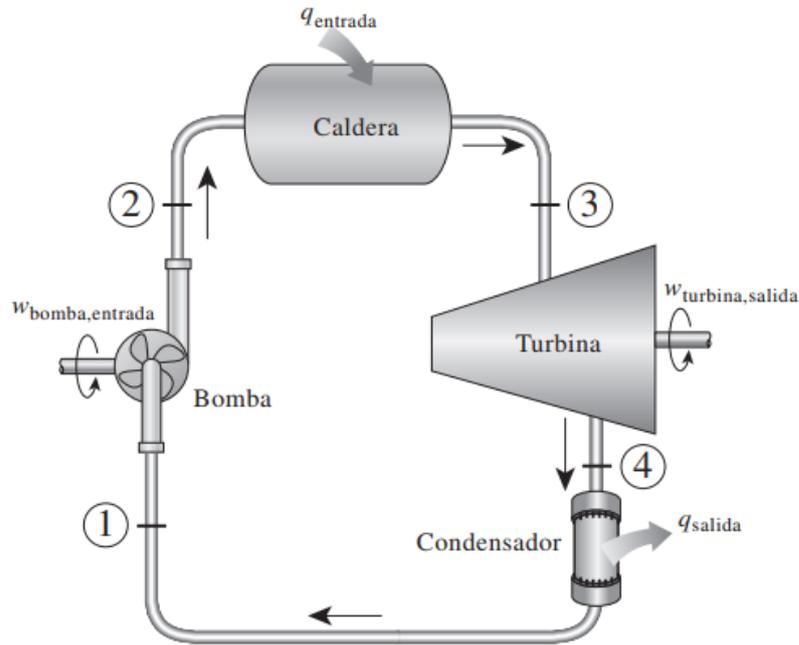


Figura 2. Esquema de un ciclo térmico de un central de vapor [15].

- Calor | Q entrada | correspondiente por el foco caliente.
- Calor | Q salida | entregado al foco frío.
- Trabajo | W salida | generado por la turbina.
- Trabajo | W entrada | preciso para que funcione las máquinas térmicas.

Los mecanismos son utilizados para generar una potencia de salida y son más conocidos como motores o máquinas térmicas, estos trabajan mediante los ciclos termodinámicos y también llamados ciclos de potencia [16] [17].

La potencia mediante los ciclos se clasifican en dos tipos ciclos cerrados y ciclos abiertos, en el ciclo cerrado como dice su nombre los fluidos de trabajos recorren por el proceso desde un punto inicial hasta cumplir el proceso y así consecutivamente. En cambio en el ciclo abierto los fluidos de trabajo no son devueltos sino remplazados por un nuevo fluido. Los motores de explosión y turbinas de gas operan bajo un ciclo mecánico, con el fluido de trabajo no realiza todo el proceso de un ciclo termodinámico completo [16] [17].

Es conveniente indagar la eficiencia de unos ciclos de potencia, realizando ciertas suposiciones que simplifican la conducta de procesos que forman el ciclo. El

método accede a retirar la actividad general de los ciclos de potencia, las características de un fluido de trabajo en específico y de las irreversibilidades provocadas por un grupo de mecanismos. Por lo tanto, los métodos de transferencia de calor realizados logran suplantar a los métodos de combustión que forman en las máquinas de combustión interna, de tal manera, es posible distinguir a estos mecanismos como máquinas térmicas [16] [17].

Las hipótesis simplificadoras utilizadas en los estudios de ciclos de potencia son las siguientes [16] [17].

- Aire estándar
- Evadiendo todo tipo de fricción en el ciclo
- En los métodos de expansión y compresión suceden de forma de cerca del equilibrio
- Las conexiones de los diferentes componentes por tuberías se encuentran aisladas y se puede decir que es insignificante la transferencia de calor.
- No son considerados cualquier cambio de energía cinética y potencial que influyen los fluidos de trabajo.

Entonces los ítems anteriores que se suponen, se llega a la conclusión que las eficiencias de los ciclos iniciales son mucho más grandes que los obtenidos en la vida cotidiana [16] [17].

Los ciclos más conocidos son:

- Ciclo Rankine, cual estudian las máquinas de vapor.
- Ciclo Otto, estudia los comportamientos de los motores de combustión interna.
- Ciclo Diésel, estudia motores diésel.
- Ciclo Brayton (o Joule), quien organiza la gestión de una turbina de gas que se encuentran en motores de aviones y centrales de generación.

1.2.2 Motor de combustión interna

Los motores térmicos han desempeñado un papel importante en la modernización

de la vida de la humanidad. Los primeros motores tenían una eficiencia muy baja, por lo que era uno de los desafíos de los ingenieros encontrar nuevos métodos y diseños que aumentaran la eficiencia de la producción de energía [18].

Los motores de encendido por compresión (CI) se utilizan principalmente para la generación de energía, el transporte y los diferentes sectores agroindustriales [19].

Los motores de vehículos de gas natural son preferibles a los motores diésel porque liberan cantidades significativamente menores de óxidos de nitrógeno (NO) y emisiones de dióxido de carbono [20].

1.2.3 Ciclo Otto

Los estudios de evaluación de rendimiento para motores de inflamado por chispa basados al ciclo de Otto habían llamado mucho la atención en la ciencia de la ingeniería debido a su importancia para la aplicación práctica en la vida diaria humana. Los motores de explosión muy utilizados en los transporte, agricultura y generación de energía en todo el mundo y estas generan una gran cantidad de contaminación al mundo. Por lo tanto, su rendimiento como potencia, eficiencia y consumo de combustible se centran en la mayoría de los estudios de investigación [21].

Al introducir procesos de tiempo finito en los estudios de termodinámica, se han adaptado límites y evaluaciones más realistas para el rendimiento real del motor térmico. En las últimas décadas, muchos estudios de optimización para motores térmicos basados en modelos endoreversibles e irreversibles [21].

Los ciclos ideales de Otto y Diésel se realizó un estudio y se comparó sus relaciones de compresión volumétrica y eficiencias térmicas en condiciones máximas de trabajo por ciclo al incluir el efecto de la pérdida de transmisión de calor a mediante las paredes de los cilindro en las salidas del trabajo [21] [22].

Los motores de explosión encendidos por chispa conocido como un ciclo Otto. El ideal de cuatro tiempos. El ciclo Otto modela el consumo de combustible en los cuatro procesos como se distingue en la figura 3, mezcla de aire (1–2) mediante que en el cilindro el pistón realiza el trabajo desde su punto muerto superior (TDC) a punto muerto inferior (BDC) con la válvula de admisión abierta. Entonces la

mezcla se comprime (2–3) a medida que el pistón se mueve de regreso a TDC con la válvula de admisión completamente cerrada. En TDC, la chispa prende instantáneamente la mezcla de combustible y aire (3–4) proporcionando una entrada de calor [23].

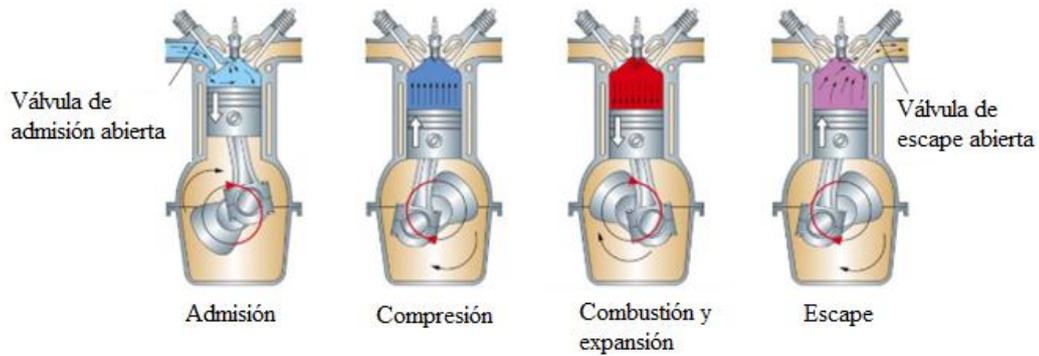


Figura 3. Ciclo Otto de trabajo teórico del motor de cuatro tiempos [24].

1.2.4 Ciclo Diésel

Los motores diésel son ampliamente utilizados como variedades de trenes motrices para vehículos y equipos no de carretera debido a su potencia equilibrada rendimiento, economía de combustible y durabilidad. Hoy en día, la principal preocupación sobre motores diésel son sus emisiones de partículas indeseables que es una amenaza para la humanidad y la eficacia del aire urbano [25] [26]. Varios estudios anteriores han demostrado que la emisión de partículas diésel es la razón principal para reducir la visibilidad atmosférica [25], regional cambio climático y erosiones de reliquias culturales [26]. Además, los hidrocarburos aromáticos polí cíclicos unidos a partículas (HAP) son especies altamente carcinogénicas y muta génicas [25] [26] [27].

Para hacer enfrentar el problema de la emisión de partículas, una serie de tecnologías como la turbo alimentación de refrigeración interna, se optimiza con la geometría en la cámara de combustión, la inyección de combustible a alta presión, la estrategia de inyección múltiple y el catalizador de oxidación diésel (DOC) ha sido ampliamente empleado por la industria históricamente, para cumplir con la regulación cada vez más estricta de emisiones de partículas en todo el mundo, el filtro de partículas diésel (DPF) se convirtió en una solución ampliamente

implementada en la última década [26] [27].

El ciclo Diésel donde se introduce a la cámara de combustión mediante una bomba el combustible con presiones elevadas. En la mezcla en el motor diésel el aire es el primero en ingresar a la cámara de combustión, existe dos tipos de dos tiempos esta tiene una embolada de potencia en cada revolución, también el de cuatro tiempos que tiene una embolada de potencia cada dos revoluciones, esta es la diferencia por lo tanto según la potencia son obligados aumentar cilindros y bombas en su funcionamiento [15].

Se puede controlar velocidades y potencias con la variación del ingreso de cantidades de combustibles inyectados, por lo tanto en las lineales se varia la carrera de la bomba, cuando es rotativa se aprieta el paso de combustible. Por lo tanto en versiones (versión turbo) es muy utilizado un compresor para suministrar la limpieza de gases, donde se tiene un proceso de precalentamiento del aire y este es comprimido para su ingreso al cilindro, así tenemos una mayor eficiencia [15] .

El proceso de inyección de combustible inicia cuando el émbolo está cerca al punto muerto superior y esta tiene un proceso en la primera etapa de la carrera de potencia, entonces, se puede concluir que el proceso de combustión se realiza en un mayor tiempo, se llega a concluir que en ciclo diésel ideal es una adición de calor a una presión constante [15].

Entonces, los procesos quedan de la siguiente manera 1-2 compresión isentrópica, 2-3 a presión constante se adiciona calor, 3-4 expansión isentrópica y 4-1 devolución de calor a volumen constante. El diagrama P-V del ciclo Diésel, mostrados en la figura 4, se identifican los procesos que tienen lugar en el ciclo Diésel [15].

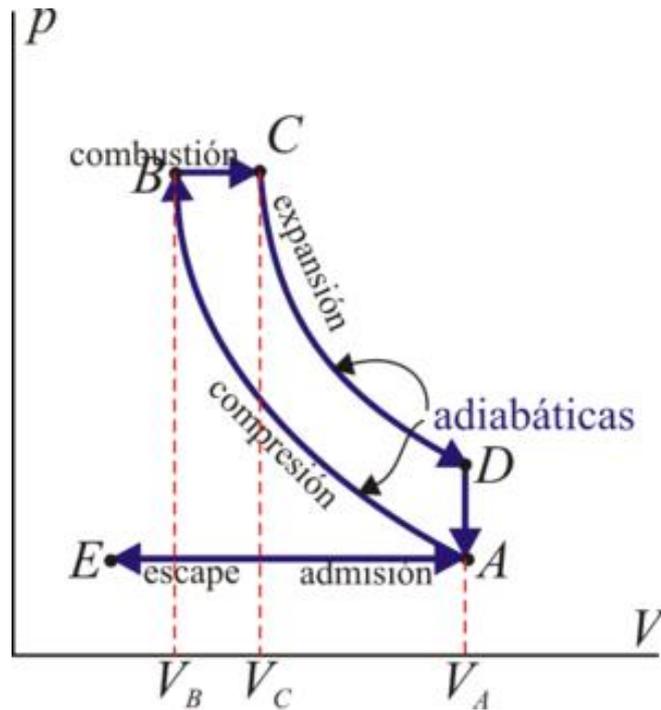


Figura 4. Diagrama presión volumen ciclo diésel [28].

1.2.5 Reacciones de un motor de combustión interna

El motor considerado desde la parte termodinámica, el sistema comprende por un fluido concentrado en las cámaras de combustión mientras el proceso de compresión, combustión y expansión, se detalla en la Figura 5. Obtenemos una mezcla de los compuestos en la mezcla de combustibles, gases quemados, aire y estos son reintegrados al sistema.

Mediante el trabajo realizado en el proceso de combustión, obtenemos reactantes que se transforman en CO_2 , H_2O , CO , entre otros, por lo tanto obtenemos energía térmica de la energía química convertida. En la figura 5 se detalla los límites del sistema mediante las paredes de las cámaras de combustión [29].

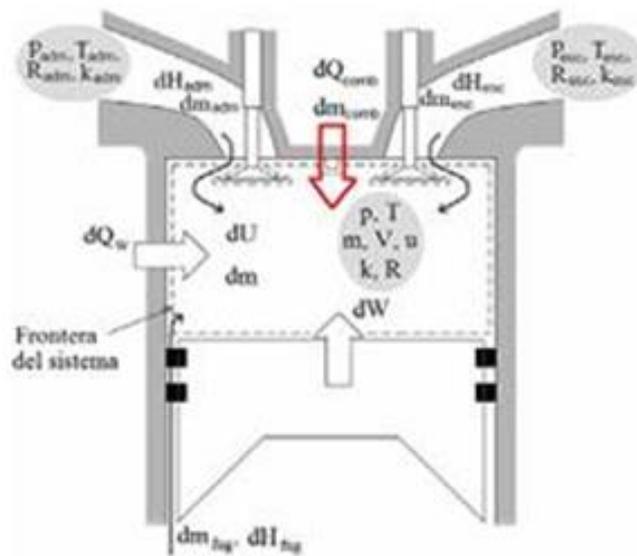


Figura 5. Motor de combustión interna [29].

1.2.6 Ciclo Otto real

Según leyes termodinámicas ninguna máquina puede convertir toda la energía en un trabajo ya que existen pérdidas en los mecanismos, ambiente entre otros.

En el proceso del ciclo Otto real se puede explicar de la siguiente manera.

- Admisión: Ingreso natural, mediante la válvula de admisión con una pérdida de presión provocada por los filtros entre otros lo causante a una variación de presión referente a la atmosfera provocando una disminución de potencia al motor [30] [31] [32] [33].
- Compresión: Es adiabático, como se detalló la presión en el proceso de admisión tiene un valor menor, entonces veremos afectado la presión al comprimir la mezcla aire combustible [30] [31] [32] [33].
- Expansión: El proceso en la chispa no logra realizar la explosión inmediata, al comienzo de la combustión, obteniendo un volumen menor de la explosión. Sin tomar en cuenta que no se considera la fricción del pistón sobre el cilindro [30] [31] [32] [33].
- Escape: Es la abertura de la válvula de escape, donde la presión es expulsada en un tiempo, entonces la presión es reflejada después de un lapso de tiempo.

Se detallara mecanismos que afectan a la presión expulsada estas son: catalizador, silenciador, ducto de escape y múltiple de escape. También es afectado al rendimiento sobrantes de mezclas en el cilindro los cuales no son expulsadas por completo [30] [31] [32] [33].

Los motores reales no siguen las características del ciclo Otto ideal, porque la presión y el tiempo no son instantáneos, y tampoco los datos especificados por el fabricante.

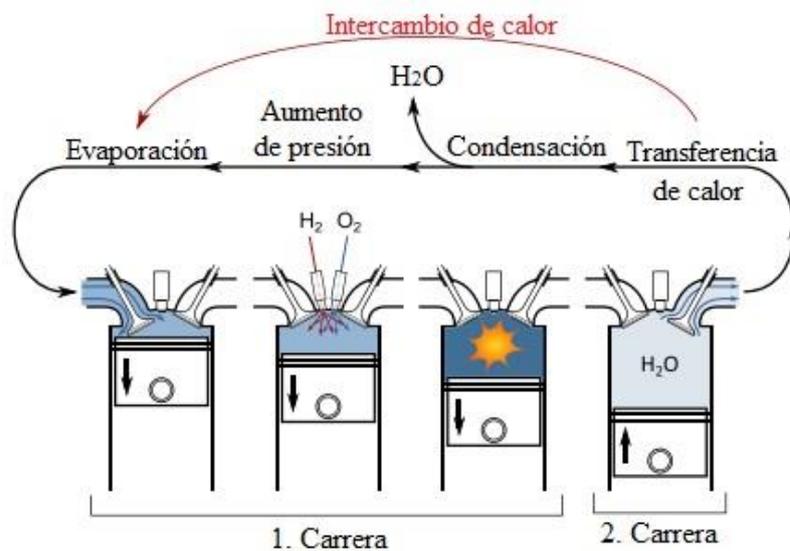


Figura 6. Trabajo se ejecuta a través de los procesos en el ciclo Otto real [34].

1.2.7 Ciclo Diésel real

Podemos encontrar diferencias y semejanzas en los valores de las presiones y temperaturas en los ciclos diésel real y teórico. Oposiciones detalladas y que también interfieren en el ciclo como en el ciclo Otto. Podemos decir que algunas son similares y estas pertenecen al ciclo Otto; entonces se dice la variación de calores específicos, pérdidas de calor y tiempos de apertura de las válvulas de escape [35].

También prorrogan y son causadas por el análisis y las pérdidas de bombeo. La más sobresaliente en el motor diésel, no se puede verificar la presión constante de la combustión del ciclo real [35].

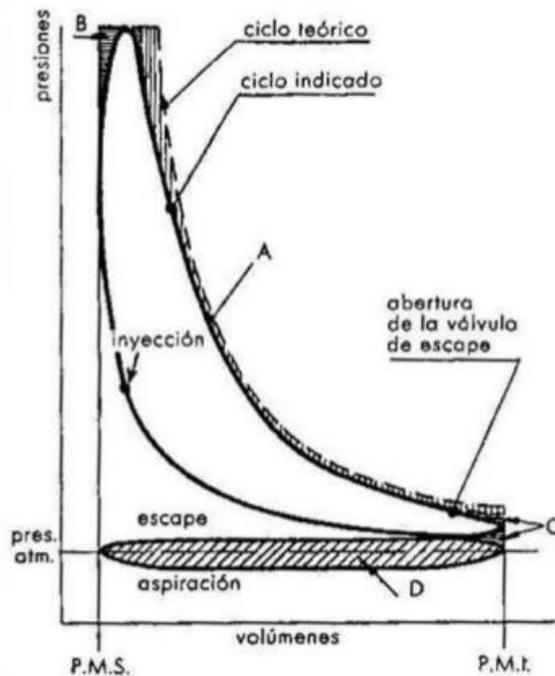


Figura 7. Diagrama presión volumen de motores diésel real [34].

1.2.8 Combustibles

Los fabricantes de motores utilizan cada vez más motores de combustión de encendido por chispa reducidos y turboalimentados para mejorar la eficiencia de las máquinas y reducir las contaminaciones de CO₂ [36]. Si bien estos motores son muy efectivos para mejorar la economía de combustible, su mayor rendimiento específico los hace más propensos a fenómenos perjudiciales como el pre encendido. Aunque el pre encendido no es un proceso novedoso ni exclusivo de motores reforzados reducidos [37].

Como fluidos de trabajo como la gasolina y el diésel son composiciones liadas de petróleo estas en un lapso de temperaturas son destiladas. Se asume que es mucho más volátil si se tiene una menor temperatura en la gasolina lo que no pasa en el diésel debe disponer mayor temperatura para tener una mayor volatilidad [38].

El gas natural (GN) es utilizado solamente como combustibles en motores de encendido por chispa tipo Otto. Además se utiliza a una compresión de 200 bares o licuado. El tema de almacenamientos se recomienda el uso de GN comprimido [38].

1.2.9 Procesos de transferencia de calor

En las leyes de la Termodinámica se encuentran tres procesos muy importantes estas son conducción, convección y la radiación. Estos procesos indican si en un cuerpo se encuentra en equilibrio tratan de transferir energía, se puede determinar la cantidad de energía solicitada para un cambio de un sistema en equilibrio, esto no estudia ni se puede calcular la rapidez que se dan los cambios en el sistema [39].

1.2.9.1 Conducción

Se puede obtener este proceso en un cuerpo sólido, líquido o gases donde tenga en varios puntos diferentes temperaturas, Cuando existe un foco caliente esta cede el calor a un foco de menor temperatura.

Se puede decir que en la transferencia de energía es entre partículas con mayor energía a des de menor energía y se obtiene la interacción entre ellas. Las siguientes características en los gases y líquidos se obtienen el proceso de conducción esto varia a los encuentros y a la propagación de estas moléculas durante un recorrido aleatorio. Por otro lado los sólidos no son más que la combinación de las moléculas por el efecto de las vibraciones estas transporta los electrones libres y así se dirige la energía [39].

1.2.9.2 Convección

La convección es cuando la energía se transfiere entre superficies sólidas, líquido o gas estas se encuentran en movimiento dependiendo los fluidos. Se llega a entender que si los movimientos mientras más veloces sean la transferencia es mayor. Si no existen movimientos de fluidos, en las superficies solidas la conducción llega a ser pura. La apariencia de corriente masivo del fluido amplía en las superficies solidas la transferencia de calor, esta confunde el valor de los conocimientos de esa transferencia [39].

1.2.9.3 Radiación

La radiación es una forma de energía emitida por la materia esta se representa en ondas electromagnéticas (o fotones) y se obtiene cambios en sus composiciones

químicas electrónicas como en los átomos o moléculas. La diferencia entre los procesos antes mencionados la radiación no interfiere un ente externo. Entonces en la transferencia de calor por radiación se concluye que es más rápida (a la velocidad de la luz) y esta no cambia en un vacío. Se entiende que es la manera de trasladarse la energía a nuestro planeta Tierra. Creemos que esta manera es desemejante en comparación a las maneras de radiación, rayos X, rayos gamma, microondas, ondas de radio y de televisión, estas no interfieren con temperaturas. Se conoce que cualquier cuerpo ya sea su temperatura superior al cero absoluto estos cuerpos emiten una radiación térmica.

Siendo la radiación un fenómeno volumétrico se llega a concluir que los cuerpos generan, atraen o ceden radiación a grados diferentes. Por lo tanto se dice que es un fenómeno superficial a la radiación para los cuerpos que no conducen a la radiación térmica, entre ellas tenemos los metales, madera y rocas, se dice que el material de estos compuestos no llegan a la superficie por la radiación, y solo ingresan una cuantas moléculas a los sólidos antes mencionados [39].

1.3 Conclusiones del capítulo

Según la investigación el uso de la moto generador en el transcurso de generación de energía eléctrica. Entonces, se considera que el generador es un conjunto de sistemas primarios en industrias de plantas de generación, por lo tanto es necesario disponer y mantener con equipos especializados altamente electrónicos para una mejor protección, con esto podremos verificar y manipular los equipos con mayor eficacia y evitar paros de emergencia innecesarios.

En el desarrollo las industrias optaron por buscar alternativas de energía, las moto-generadores se involucraron en muchas aplicaciones, gracias a su capacidad y producción, su gran mayoría son parte de empresas petroleras y lugares con una alta demanda de energía, estos mecanismos son manejados en sistemas eléctricos con fines de alimentar motores, bombas e iluminación, dado a su relativamente fácil

funcionamiento y amplio desempeño de operación.

CAPÍTULO II

ESTUDIOS PRELIMINARES PARA LA EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL

En este capítulo se hará un análisis utilizando ecuaciones para determinar las eficiencias y consumos de combustibles de moto-generadores, mediante la investigación científica la cual proyectará datos exactos y concluir con exactitud en los dispositivos y su rentabilidad.

2.1 Motor de combustión interna

Un motor es más conocido como la unión de sistemas mecánicos que transforman la energía calorífica comprendida en el combustible, en energía mecánica para ganar un movimiento con el fin que sea utilizada.

Un motor está compuesto de varios sistemas o subsistemas para un buen funcionamiento entre los más importantes son:

- Distribución
- Lubricación
- Refrigeración
- Alimentación
- Eléctrico



Figura 8. Motor de combustión interna [35].

2.2 Parámetros del motor de combustión interna

El motor de combustión interna, trabaja o funciona en su sistema comprendido por un gas comprimido y esta se encuentra dentro de la cámara de combustión durante los procesos de su ciclo de combustión interna.

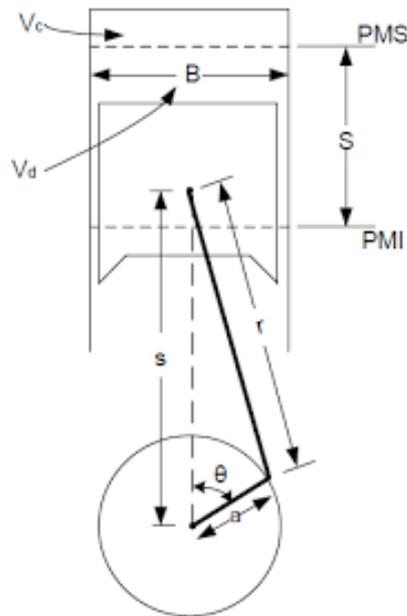


Figura 9. Parámetros principales del motor de combustión interna [40].

2.2.1 Cilindrada unitaria

Es la carrera donde se encuentra el volumen que recorre el pistón durante su trayecto, entre el punto muerto superior (PMS) y el punto muerto inferior (PMI). Entonces se dice que es el área disponible en el cilindro, y la diferencia del volumen de la cámara de combustión:

Se debe tener en cuenta las características generales de los especificaciones pero se toma como referencia una temperatura límite de 150-200 °C en la bujía y unos 250 °C para la cámara de combustión para evitar daños y mantener una lubricación y resistencia al trabajo (1) [40] [41] [42] [43] [44].

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} s \quad (1)$$

Donde:

V_h = Volumen del cilindro (Cilindrada unitaria) (m^3)

D = Diámetro del cilindro (m)

s = Carrera (m)

2.2.2 Cilindrada total

La cilindrada total, se obtiene en la multiplicación del número de cilindros por el valor anterior (cilindrada unitaria) (2) [40] [41] [42] [43] [44].

$$V_H = V_h \cdot i \quad (2)$$

Donde:

V_H = Cilindrada total (m^3)

i = Número de cilindros

2.2.3 Relación de compresión

Es el número que aprueba el volumen comprendido en la cámara de combustión, donde se comprimen los gases (aire-combustible) o la cantidad de fluido interno en la cámara de combustión (3) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c} \quad (3)$$

Donde:

ε = Relación de compresión

V_c = Volumen de la cámara de combustible (m^3)

2.2.4 Volumen total del cilindro

Es el área de la base que se extiende a través de la altura del cilindro, o la suma del volumen del cilindro a partir el PMS se dirige al PMI más el volumen de la cámara de combustión (4) [40] [41] [42] [43] [44].

$$V_a = V_h + V_c \quad (4)$$

Donde:

V_a = Volumen total del cilindro (m^3)

2.2.5 Presión media efectiva

Se realiza la media medida de las presiones que se generan en el proceso de combustión y expansión interno en el cilindro. La presión media se basa al llenado y aprovechamiento de mezcla aire combustible que ingresa al motor.

La cantidad de trabajo se dice que es similar al emanado en el ciclo real (PME) (5) [40] [41] [42] [43] [44].

$$PME = \frac{W_{neto}}{V_a - V_{min}} \quad (5)$$

PME = Presión media efectiva (kPa)

2.2.6 Carrera del pistón

Es el trayecto que camina el pistón en el cilindro desde PMI hasta el PMS. Mejor conocido como la elevación del cilindro. (6) [40] [41] [42] [43] [44].

$$s = 2r \quad (6)$$

Donde:

r = Radio del cigüeñal (m)

2.2.7 Régimen térmico directo

El régimen térmico directo es la cantidad de calor disponible en el sistema (RTD) (7) [40] [41] [42] [43] [44].

$$RTD = \frac{C_c \cdot PC}{P_b} \quad (7)$$

Donde:

RTD = Régimen térmico directo (kJ/h)/kW

PC = Poder Calórico del combustible (kJ/kg)

P_b = Potencia bruta (kW)

2.2.8 Consumo de combustible

Varía según la clasificación y la potencia generada en la máquina y depende de múltiples factores, tales como el proyecto del motor, las condiciones ambientales, cargas (C_c) (8) [40] [41] [42] [43] [44].

$$C_c = \rho \cdot q \quad (8)$$

Donde:

ρ = densidad del combustible (kg/m³)

q = Caudal del combustible (m³/h)

2.2.9 Flujo de masa de combustible

El flujo de masa del combustible que pasa por el sistema de alimentación del motor pasando por conductos en unidades de tiempo (9) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\dot{m}_c = \rho \frac{V}{\Delta t} \quad (9)$$

Donde:

\dot{m}_c = Flujo másico de combustible (kg/s)

ρ = Densidad específica de combustible (kg/m^3)

V = Volumen de combustible (m^3)

Δt = Tiempo de flujo (s)

2.2.10 Calor liberado por el combustible

El calor generado en el combustible de una máquina ocurre por altas diferencias de temperatura provocando una transferencia de calor mayor y ocurre a mayor velocidad (10) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot \text{PCI} \quad (10)$$

Donde:

\dot{Q}_c = Calor liberado por el combustible (kW)

PCI= Poder calorífico inferior del combustible (kJ/kg)

2.2.11 Pérdida de calor por los gases de escape

La salida de gases quemados en la combustión a la atmósfera a través del múltiple de escape, este es conocido como un ducto de metal cual transporta los gases y se encuentran en las industrias.

Su composición depende del fluido quemado, generalmente consistirá en su mayoría de nitrógeno procedente del aire de combustión, otros gases como el dióxido de carbono (CO_2), también tenemos el vapor de agua, y dependiendo la mezcla se tiene un exceso de oxígeno (11) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g \cdot \bar{c}_p \cdot (T_{out} - T_{in}) \quad (11)$$

Donde:

\dot{Q}_g = Calor liberado por los gases de escape (kJ/s)

\dot{m}_g = Flujo másico de los gases (kg/s)

\bar{c}_p = Calor específico a presión constante promedio de los gases (J/kg)

T_{out} = Temperatura de salida (°C)

T_{in} = Temperatura ambiente (°C)

2.2.12 Flujo de gases

El flujo másico calcula la cantidad de moléculas que están fluyendo en un gas (12) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\dot{m}_g = \dot{m}_{ar} + \dot{m}_{comb} \quad (12)$$

Donde:

\dot{m}_{ar} = Flujo de aire (kg/s)

\dot{m}_{comb} = Flujo másico de combustible (kg/s)

2.2.13 Calor perdido en sistema de refrigeración

El calor cedido a los mecanismos o partes del cilindro también el calor que el agua de refrigeración transfiere estas son por radiación, conducción y convección durante el periodo de combustión, trabajo, expansión y escape (13) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_A \cdot \bar{c}_A \cdot (T_s - T_e) \quad (13)$$

Donde:

\dot{Q}_A = Calor del radiador (kW)

\dot{m}_A = Flujo de agua en radiador (kg/s)

\bar{c}_A = Calor específico de agua (kJ/kg°C)

T_s = Temperatura de salida del agua (°C)

T_e = Temperatura de entrada del agua (°C)

2.2.14 Balance energético

El balance energético es el equilibrio que se produce cuando ingresa la misma energía que se gasta. En este caso no habría ni ganancia ni pérdida de trabajo ejercida en la moto generador (14) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_c - \dot{Q}_g - \dot{Q}_A - \dot{Q}_{k-c} \quad (14)$$

Donde:

\dot{Q}_p = Energía útil en el motor (kW)

\dot{Q}_c = Calor liberado por el combustible (kW)

\dot{Q}_g = Calor de los gases de escape (kW)

\dot{Q}_A = Calor del agua de enfriamiento (kW)

\dot{Q}_{k-c} = Calor perdido por convección y conducción (kW)

2.2.15 El rendimiento del sistema

El rendimiento es el cociente entre el trabajo útil desarrollado en un ciclo y la energía térmica suministrada por la combustión (15) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\eta_{energético} = \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_c} \quad (15)$$

2.2.16 Calor de entrada Otto

El calor suministrado para un ciclo Otto del sistema solicitado para obtener un buen desempeño de una máquina térmica proviene del proceso libre en una combustión, y este toma para poner en marcha piezas mecánicas. (16) [40] [41] [42] [43] [44].

$$Q_H = C_v \cdot (T_3 - T_2) \quad (16)$$

Donde:

Q_H = Calor de entrada (Btu/lbm)

C_v = Calor especifico (kJ/kg·°K)

T = Temperatura (°C, °K)

2.2.17 Calor de salida Otto

El calor suministrado para un ciclo Otto del sistema se define como un trabajo aprovechado de las propiedades de un fluido (17) [40] [41] [42] [43] [44].

$$Q_L = C_v(T_4 - T_1) \quad (17)$$

Donde:

Q_L = Calor de salida (Btu/lbm)

2.2.18 Calor de entrada diésel

El calor suministrado para un ciclo diésel del sistema se determina (18) [40] [41] [42] [43] [44].

$$Q_H = C_p(T_3 - T_2) \quad (18)$$

Donde:

C_p = Calor especifico (kJ/kg·°K)

2.2.19 Calor de salida diésel

El calor suministrado para un ciclo diésel del sistema se determina (19) [40] [41] [42] [43] [44].

$$Q_L = C_v(T_4 - T_1) \quad (19)$$

2.2.20 Cantidad de trabajo en un motor de combustión interna

El trabajo cantidad transferida de energía de un sistema entregando a otro sistema cediendo una fuerza y este genera un desplazamiento. Entonces, la cantidad neta de trabajo en un ciclo que proporciona el motor de combustión interna es lo que produce menos lo que emplea en su funcionamiento (20) [40] [41] [42] [43] [44].

$$W_{neto} = W_{salida} - W_{entrada} \quad (20)$$

Donde:

W_{neto} = Trabajo realizado en el ciclo (kJ)

W_{salida} = Trabajo que da el ciclo (kJ)

$W_{entrada}$ = Trabajo que da al inicio el ciclo (kJ)

2.2.21 La proporción entre las capacidades caloríficas

El cociente que se da entre cantidad de energía calorífica a un sistema que cambia y reemplaza su temperatura (21) [40] [41] [42] [43] [44].

$$Y = \frac{C_p}{C_v} \quad (21)$$

Donde:

Y = proporción entre las capacidades caloríficas

2.2.22 Calores cedidos al ambiente

Diferencias que se dan al sumar las entalpías que ingresan al sistema y las salientes del sistema. Se dice que la variación de entalpía, son medidas de energías absorbidas o concedida a un sistema termodinámico, por lo tanto se puede contribuir o conceder energía, entonces la entalpía es considerada igualmente al calor intercambiado con el ecosistema (22) [40] [41] [42] [43] [44].

$$\Sigma Q = \Sigma H_{entrada} - \Sigma H_{salida} \quad (22)$$

Donde

ΣQ = Sumatoria de calor evacuado al ambiente

$\Sigma H_{entrada}$ = Sumatoria de entalpias que salen del sistema

ΣH_{salida} = Sumatoria de entalpias que entran al sistema

2.3 Conclusiones del capítulo

La indagación e interpretación de las fórmulas y ecuaciones puntualizadas en el capítulo se ejecuta conforme los dispositivos principales en las unidades de generación a gas y diésel. Al estudio de esto se logra obtener ideas claras para cada uno de los componentes en el funcionamiento, las características físicas y termodinámicas siguiendo una secuencia del funcionamiento de los sistemas.

Mediante la formulación indicada en el capítulo llegamos a verificar datos que son de gran importancia para el estudio de los moto generadores y así certificar la operación célebre del mismo.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS PARA LA EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL

En el presente capítulo emplearemos la formulación presentada en el capítulo anterior, con el propósito de ejecutar el análisis con los cálculos idóneos razón a la etapa actual de las motos generadores, y así justificar los resultados logrados con datos obtenidos a través de pruebas generadas.

3.1 Análisis de la eficiencia y consumo de combustible de las motos generadores

El presente proyecto analiza la eficiencia energética de una moto generador a diésel Caterpillar y dos motos generadores Waukesha los cuales funcionan con gas licuado de petróleo (GLP), estos trabajan a base de cuatro ciclos admisión, compresión, explosión y escape.

La Tabla 1 muestra los parámetros y datos técnicos del motor Waukesha.

Tabla 1. Ficha técnica de las motos generadores Waukesha [45]

Waukesha	
Modelo Motor:	VHP L7044-GSID-E
Modelo Moto-generador:	VHP 7104-GSID-E
Combustible:	Gas Natural / Gas Campo
Ciclo:	Cuatro tiempos
Potencia:	1680 BHP / 1200 kW
Velocidad nominal:	1200 RPM
Nº Cilindros y disposición:	12 cilindros Motor en V
Eficiencia nominal:	36%
Diámetro de cilindro:	9,375" * 8,5" (238 x 216 mm)

Tabla 1. Ficha técnica de las motos generadores Waukesha [45] (Continuación)

Waukesha	
Carrera del pistón:	8,5"
Desplazamiento por cilindro:	586 cu. In. (9,58L)
Tipos de trabajo:	Continuo
Velocidad del pistón:	1700 ft/min (8,64 m/s)
Relación de compresión:	8,0 : 1
Rotación:	Anti horario (CCW)
Consumo de Gas:	212,628 cf/día al 100% de carga \pm 10% Datos según análisis cromatográfico por empresa
Presión de gas a la entrada del motor:	Mínimo: 3,25 psig Máximo: 50 psig
Temperatura de gas a la entrada	Máximo 100 °F

Elaborado por: Henry Díaz.

Por otro lado, en la Tabla 2 se pueden observar los datos del motor Caterpillar.

Tabla 2. Ficha técnica de la moto generador Caterpillar [46]

Caterpillar	
Modelo Motor:	GM-20-645-E4
Modelo Moto-generador:	GE-12402
Combustible:	Diésel
Ciclo:	Cuatro tiempos
Potencia:	1080 BHP / 746 kW
Eficiencia Nominal:	42%
Velocidad Nominal:	900 RPM
N° Cilindros y disposición:	20 cilindros
Diámetro de cilindro:	5,7" * 6,4" (162 x 145 mm)
Desplazamiento por cilindro:	1953 in (32L)
Tipos de trabajo:	Continuo
Relación de compresión:	14,5 : 1
Rotación:	Anti horario (CCW)
Consumo de diésel:	143,7 Gal/h al 100% de carga \pm 10% Datos según análisis cromatográfico por empresa
Presión de gas a la entrada del	36,1 MJ/Nm ³

Elaborado por: Henry Díaz.

3.2 Análisis termodinámicos del sistema

Las motos generadores se analizan en base al ciclo real de motores de combustión interna, se tomara los datos técnicos según información adquirida por la empresa.

Las mediciones de temperatura se realizaron tanto en el múltiple de admisión como en el múltiple de escape mediante un termómetro infrarrojo visual (FLUKE), dichos datos se tomaron durante 6 meses, valores que se pueden observar en la figura 10.



Figura 10. Termómetro visual FLUKE [35].

3.3 Toma de datos

Para obtener los datos de los motores, se realizaron mediciones diferentes horas del día para poder determinar con ellos la eficiencia de dichos motores.

Los horarios de toma de datos del motor Waukesha fueron en un intervalo de 2 horas del cual tomamos el promedio de los días realizados las pruebas. En la Tabla 3 se observan las fechas y los parámetros que se obtuvieron.

Tabla 3. Ficha técnica de pruebas de moto generador Waukesha

Parámetro	Prueba	Prueba 2	Prueba 3
Fecha	6/7/2020	15/11/2020	18/1/2021
Flujo másico del refrigerante, [kg/s]	0,13	0,135	0,131
Temperatura entrada del refrigerante,	57,22	57,77	57,22
Temperatura salida del refrigerante,	78,8	80	80,3
Flujo másico de los gases, [kg/s]	0,013	0,013	0,013
Temperatura salida de los gases, [°C]	295,61	295,61	295,61
Temperatura ambiente, [°C]	30,55	30,55	30,55
Poder calórico inferior del combustible [kJ/kg]	46	46	46
Flujo másico de combustible [kg/s]	0,98	0,98	0,98

Elaborado por: Henry Díaz

Ahora para obtener los datos del motor Caterpillar, fueron en un intervalo de 2 horas del cual tomamos el promedio de los días realizados las pruebas. En la Tabla 4 se observan las fechas y los parámetros que se obtuvieron.

Tabla 4. Ficha técnica de pruebas de moto generador Caterpillar

Parámetro	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Fecha	15/8/2020	12/12/2020	24/1/2021
Flujo másico del refrigerante, [kg/s]	0,235	0,236	0,233
Temperatura entrada del refrigerante, [°C]	58,88	59,44	58,33
Temperatura salida del refrigerante, [°C]	81,11	81,66	82,22
Flujo másico de los gases, [kg/s]	0,018	0,018	0,018
Temperatura salida de los gases, [°C]	258,44	259,31	258,48
Temperatura ambiente, [°C]	31,66	31,15	30,89
Poder calórico inferior del combustible	43	43	43
Flujo másico de combustible [kg/s]	1,318	1,318	1,318

Elaborado por: Henry Díaz

3.4 Análisis térmico de los motores

Mediante los valores obtenidos de un sistema de control de cada moto generador se obtuvo los valores, el cual se presenta el análisis matemático de los valores obtenidos mediante pruebas en los motores Waukesha y Caterpillar, los datos técnicos de dichos motores se presenta en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente, partiendo de datos obtenidos mediante las pruebas recabadas en los motores antes mencionados se realiza el cálculo de la eficiencia.

3.4.1 Motor Waukesha

Se realiza los cálculos del motor donde se calcula la cilindrada unitaria con la ecuación (1).

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} s$$

$$V_h = \frac{\pi \cdot (0,216 \text{ m})^2}{4} \cdot (0,2159) \text{ m}$$

$$V_h = 7,911 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Con la ecuación se puede calcular la cilindrada total con la ecuación (2).

$$V_H = V_h \cdot i$$

$$V_H = 7,911 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 12$$

$$V_H = 9,49 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

También se obtiene la relación de compresión con la ecuación (3)

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$$\varepsilon = \frac{7,911 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 + 0,008721 \text{ m}^3}{0,008721 \text{ m}^3} = 1,907$$

Con el resultado de la ecuación anterior se encuentra el volumen total del cilindro con la ecuación (4).

$$V_a = V_h + V_c$$

$$V_a = 7,911 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 + 0,008721 \text{ m}^3$$

$$V_a = 1,66 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

También se encuentra la carrera del pistón con la ayuda de la ecuación (6).

$$s = 2r$$

$$s = 2 \cdot 0,10795 \text{ m}$$

$$s = 0,2159 \text{ m}$$

Para el motor Waukesha, las siguientes condiciones, el fluido de trabajo es GLP, el calor específico del gas es $1,42 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, la temperatura ambiente promedio es $30,55^\circ\text{C}$, temperatura de los gases $295,61^\circ\text{C}$, para el radiador el fluido de trabajo es refrigerante con un calor específico de $4,19 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, la temperatura del mismo a la entrada es de $57,5^\circ\text{C}$ de $79,7^\circ\text{C}$ en la salida y un flujo másico de $0,13 \text{ kg/s}$ se puede observar en las condiciones del motor y mediante el cual se calcula la eficiencia del mismo.

Cabe recalcar que los factores como el calor específico tanto del GLP y refrigerante se obtuvieron mediante tablas las mismas que dependen de las temperaturas de trabajo de cada fluido, el flujo másico del refrigerante se obtuvo de datos experimentales.

Definidos todos los datos, se procede a calcular el calor perdido en el sistema de refrigeración mediante la ecuación (13), esta depende de las temperaturas, del calor específico y del flujo másico del fluido de trabajo para este caso es el refrigerante.

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_A \cdot \bar{c}_A \cdot (T_s - T_e)$$

$$\dot{Q}_A = 0,13 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^\circ\text{C} \cdot (79,7^\circ\text{C} - 57,5^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_A = 12,31 \text{ kW}$$

Ahora se procede a calcular la pérdida de calor por los gases de escape este no solamente depende de las características del fluido de trabajo sino también de la temperatura ambiente y se lo puede calcular mediante la ecuación (11).

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g \cdot \bar{c}_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

Como se observa en la ecuación (11) se debe calcular el flujo másico de los gases este dato se obtiene mediante prueba experimental y se procede a calcular el \dot{Q}_g .

$$\dot{Q}_g = 0,013 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot (295,61 \text{ }^\circ\text{C} - 30,55 \text{ }^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_g = 5,09 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Se calcula el calor liberado por el combustible, este depende de dos factores como son, el poder calórico inferior del combustible para este caso del GLP este factor se obtiene mediante tablas el otro factor es el flujo másico del combustible tal como se puede observar en la ecuación (10), dicho factor de igual manera se obtiene mediante dato experimental realizada en el motor.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot \text{PCI}$$

$$\dot{Q}_c = 0,75 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_c = 34,5 \text{ kW}$$

El último de los factores que hace falta para realizar el cálculo de la eficiencia energética del motor es el calor cedido por convección y conducción que se generan en el funcionamiento del motor, este factor es igual al 20 % del calor liberado por el combustible, dicho porcentaje es recomendado por Llanes [47], entonces:

$$\dot{Q}_{k-c} = 34,5 \text{ kW} \cdot 0.2$$

$$\dot{Q}_{k-c} = 6,9 \text{ kW}$$

Una vez obtenidos todos los factores necesarios, se procede al cálculo de la eficiencia real del Motor Waukesha, mediante la ecuación (15).

$$\eta_{\text{energético}} = \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_c}$$

Como se observa la eficiencia depende de un factor llamado energía útil del motor, el cual se obtiene mediante la ecuación (14).

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_c - \dot{Q}_g - \dot{Q}_A - \dot{Q}_{k-c}$$

$$\dot{Q}_p = 34,5 \text{ kW} - 5,09 \text{ kW} - 12,31 \text{ kW} - 6,9 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_p = 10,1885 \text{ kW}$$

El valor obtenido de valor de la eficiencia energética útil del motor y el calor liberado por el combustible se procede a reemplazar estos valores en la ecuación (15).

$$\eta_{\text{energético}} = \frac{10,1885 \text{ kW}}{34,5 \text{ kW}}$$

$$\eta_{\text{energético}} = 0,295$$

El valor obtenido es 0,295 este representa a una eficiencia del 29,5 %, se puede mencionar que es un valor acorde a la literatura revisada a lo largo de este proyecto de tesis, mencionando que ninguna máquina funciona al 100 % ya que depende de varios factores entre ellos los que más destacan las temperaturas de trabajo el tiempo de uso y el tipo de fluido de funcionamiento.

3.4.2 Motor Caterpillar

Se realiza los cálculos del motor donde se calcula la cilindrada unitaria con la ecuación (1).

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} s$$

$$V_h = \frac{\pi \cdot (0,145 \text{ m})^2}{4} \cdot (0,167) \text{ m}$$

$$V_h = 2,758 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Con la ecuación se calcula la cilindrada total con la ecuación (2).

$$V_H = V_h \cdot i$$

$$V_H = 2,758 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot 20$$

$$V_H = 5,51 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

También se obtiene la relación de compresión con la ecuación (3)

$$\varepsilon = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$$\varepsilon = \frac{2,758 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 + 0,002675 \text{ m}^3}{0,002675 \text{ m}^3}$$

$$\varepsilon = 2,0308$$

Con este valor se encuentra el volumen total del cilindro con la ecuación (4).

$$V_a = V_h + V_c$$

$$V_a = 2,758 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 + 0,002675 \text{ m}^3$$

$$V_a = 5,433 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Además se calcula la carrera del pistón con la ayuda de la ecuación (6).

$$s = 2r$$

$$s = 2 \cdot 0,09017 \text{ m}$$

$$s = 0,18034 \text{ m}$$

Para el motor Caterpillar, se trabajará con las siguientes condiciones, el fluido de trabajo es Diésel, el calor específico del diésel es 1,91 kJ/kg°C, la Temperatura ambiente promedio es 31,66 °C, temperatura de los gases 258,44 °C, para el radiador el fluido de trabajo es refrigerante ELC con un calor específico de 4,2068 kJ/kg°C, la temperatura del mismo a la entrada es de 58,33 °C de 81,66°C en la salida y un flujo másico de 0,152 kg/s se puede observar las condiciones del motor y mediante el cual se calculara la eficiencia de del mismo.

Cabe recalcar que los factores como el calor específico tanto del Diésel y refrigerante se obtuvieron mediante tablas internas de los moto generadores las mismas que dependen de las temperaturas de trabajo de cada fluido, el flujo másico del refrigerante se obtuvo de dato proporcionado por la empresa.

Definidos todos los datos, se procede a calcular el calor perdido en el sistema de refrigeración mediante la ecuación (13), esta depende de las temperaturas, del calor específico y del flujo másico del fluido de trabajo para este caso es el Refrigerante.

$$\dot{Q}_A = \dot{m}_A \cdot \bar{c}_A \cdot (T_s - T_e)$$

$$\dot{Q}_A = 0,152 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 4,206 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (81,66^\circ\text{C} - 58,33^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_A = 15,0101 \text{ Kw}$$

Ahora se procede a calcular la perdida de calor por los gases de escape este no solamente depende de las características del fluido de trabajo sino también de la temperatura ambiente y se lo puede calcular mediante la ecuación (11).

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g \cdot \bar{c}_p \cdot (T_{out} - T_{in})$$

Como se observa en la ecuación (11) se debe calcular el flujo másico de los gases este dato se obtiene mediante prueba experimental y se procede a calcular el \dot{Q}_g

$$\dot{Q}_g = 0,0185 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 1,91 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (258,444^\circ\text{C} - 31,666^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q}_g = 8,0131 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

Se calcula el calor liberado por el combustible, este depende de dos factores como son, el poder calórico inferior del combustible para este caso del Diésel este factor se obtiene mediante tablas el otro factor es el flujo másico del combustible tal como

se puede observar en la ecuación (10), dicho factor de igual manera se obtiene mediante dato experimental realizada en el motor.

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \cdot PCI$$

$$\dot{Q}_c = 0,985 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot 43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_c = 42,355 \text{ kW}$$

El último de los factores que hace falta para realizar el cálculo de la eficiencia energética del motor es el calor perdido por convección y conducción que se generan en el funcionamiento del motor, este factor es igual al 20 % del calor liberado por el combustible, dicho porcentaje es recomendado por Llanes [47], entonces:

$$\dot{Q}_{k-c} = 42,355 \text{ kW} \cdot 0.2$$

$$\dot{Q}_{k-c} = 8,471 \text{ kW}$$

Una vez obtenidos todos los factores necesarios, se procede al cálculo de la eficiencia real del Motor Caterpillar, mediante la ecuación (15).

$$\eta_{\text{energético}} = \frac{\dot{Q}_p}{\dot{Q}_c}$$

Como se observa la eficiencia depende de un factor llamado energía útil del motor, el cual se obtiene mediante la ecuación (14).

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_c - \dot{Q}_g - \dot{Q}_A - \dot{Q}_{k-c}$$

$$\dot{Q}_p = 42,355 \text{ kW} - 8,01319 \text{ kW} - 12,31 \text{ kW} - 8,471 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_p = 10,86071 \text{ kW}$$

El valor obtenido de valor de la eficiencia energética útil del motor y el calor liberado por el combustible se procede a reemplazar estos valores en la ecuación (15).

$$\eta_{energético} = \frac{10,86071 \text{ kW}}{42,355 \text{ kW}}$$

$$\eta_{energético} = 0,256$$

El valor obtenido es 0,394 este representa a una eficiencia del 25,6 %, se puede mencionar que es un valor acorde a la literatura revisada a lo largo de este proyecto de tesis, mencionando que ninguna máquina funciona al 100 % ya que depende de varios factores entre ellos los que más destacan las temperaturas de trabajo el tiempo de uso y el tipo de fluido de funcionamiento

3.5 Conclusiones del capítulo

Con la formulación lograda en el capítulo anterior se detalla los análisis termodinámicos del estudio de las motos generadores la cual se evidencia su funcionamiento, de esta manera se cumple y se realizan los siguientes cálculos necesarios, para lograr determinar parámetros que son relevantes para el desarrollo del siguiente capítulo.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y EFICIENCIA TÉRMICA DE GENERADORES ELÉCTRICOS A GAS Y DIÉSEL

Para la economía de la industria presente es forzoso manipular recursos de una manera adecuada, por lo tanto que la eficiencia de las motos generadores se encuentre dentro de los parámetros y de esta manera aumentar la rentabilidad y la productividad de la industria.

El proyecto hace referencia a los resultados obtenidos mediante ecuaciones y está sustentado en consumo y eficiencia de las moto generadores, los cuales estarán detallados en este capítulo. Los costos están señalados para una mayor comprensión.

4.1 Costo de mantenimientos

Los costos de mantenimientos de las moto generadores se realiza según un número específico de horas como explica la tabla 5 y tabla 6 se describe el costo general de mantenimientos y horas de trabajo.

Tabla 5. Costos y horas de mantenimientos de la moto generador Waukesha

Frecuencia de mantenimiento (h)	Repuestos (\$)	Mantenimiento (\$)	Horas hombre (h)	Costo Total
OVERHAUL	231970,66	25000	912,00	257882,66
TOP	84391,8	15000	912,00	100303,8
8640	10015,00	0,00	120,00	10135,00
4320	9515,00	0,00	72,00	9587,00
2160	3800,00	0,00	120,00	3920,00
720	2700,00	0,00	60,00	2760,00

Elaborado por: Henry Díaz

Tabla 6. Costos y horas de mantenimientos de la moto generador Caterpillar

Frecuencia de mantenimiento (h)	Repuestos (\$)	Horas hombre (h)	Costo Total
OVERHAUL	170000,00	720,00	170000,00
TOP	90000,00	682,00	90000,00
3150	2756,00	160,00	2916,00
350	1127,00	840,00	1211,00

Elaborado por: Henry Díaz

4.1.1 Costo preventivo moto generador Waukesha

Se realiza los mantenimientos según un periodo de tiempo como explica la tabla 7 que describe el costo del gas licuado de petróleo, según la agencia de regulación y control hidrocarburífero del Ecuador, además se muestra los costos de insumos que se utilizan para el mantenimiento preventivo el cual se lo realiza cada 720 horas de funcionamiento del moto generador Waukesha, dicho mantenimiento dura un estimado de 60 horas el cual requiere la paralización del mismo, el cual genera 750 kW/h, con una potencia activa de 800 kW [48].

Tabla 7. Costos de consumibles preventivos del moto generador Waukesha

Insumo	Cantidad	Costo (\$)
GLP (USD/tm)	1	56.68
Aceite (caneca 5gl)	4	300,00
Filtro aire	1	115.34
Filtro de aceite	1	50.38
Filtro separador de aceite	1	156.01
Lubricación poleas y rodamientos	1	250,00
Limpieza general	1	180,00
Pruebas punto a punto equipos eléctricos y electrónicos	1	650,00
Mano de obra (hora)	40	800,00

Elaborado por: Henry Díaz

Según los datos adquiridos que se muestran en el capítulo 3 en la tabla 1, el consumo de gas del generador Waukesha es 212.628 cf/día, con este dato se calcula el consumo de GLP mensualmente entregando un consumo de 159.47 toneladas

métricas, ahora realizando el cálculo por el costo del GLP en dólares entrega un costo de consumo de combustible 9038.81 USD al mes.

Este generador entrega un total de 540000 kWh mensualmente, el costo del kWh es de 0,10 centavos según fuentes del ministerio de energía y recursos naturales no renovables, saldría un total de 54000 dólares al mes, ahora se calcula el costo del kW/h que entrega el motor en función del consumo de combustible sobre la potencia máxima (22) [48] [49].

$$\frac{\$}{kW-h} = \frac{(CV)_{comb}}{Pot_{max}} \quad (22)$$

Donde:

CV = Costo del combustible por flujo volumétrico estándar en (\$/h)

Pot_{max} = La potencia máxima de la moto generador (kW)

Remplazando los valores en la ecuación (22)

$$\frac{\$}{kW-h} = \frac{16.69 \$/h}{800 kW}$$

$$\frac{\$}{kW-h} = 0,02$$

Entonces el costo es de 2 centavos por kW hora, esto representa un ahorro del 80%, cabe recalcar que en este cálculo se tomó en cuenta el costo del mantenimiento preventivo el cual se lo realiza cada 720 horas, estos costos se muestran en la tabla 7, en la tabla 8 y en tabla 9 se muestran los costos del mantenimiento predictivo y correctivo respectivamente.

Tabla 8. Costos de consumibles predictivo de la moto generador Waukesha

Insumo	Cantidad	Costo
Mantenimiento general	1	15000,00
Cambio de empaques	1	2495,99
Cambio de termostatos para el agua	1	50,8
Cambio de termostatos para el aceite	1	64,88
Cambio de turbo cargadores	1	8797,43
Cambio de elemento del micro spin	1	122,11
Cambio de elementos de filtro coalescentes	1	156,97
Cambio de filtros de aceite	1	50,38
Cambio de precleaners y filtros de aire	1	115,34
Cambio de sello de la tapa de filtro de aceite	1	69,00
Cambio de sensores de oxigeno (según condición)	1	127,72
Cambio de filtro de desfogue de gases del cárter	1	145,00
Cambio de aceite	1	300,00

Elaborado por: Henry Díaz

Tabla 9. Costos de consumibles correctivos de la moto generador Waukesha

Insumo	Cantidad	Costo
Mantenimiento general	1	25000,00
Cambio de cabezotes	2	9587,00
Cambio de bujías	4	248,62
Cambio de empaques	1	2495,99
Cambio de elementos para reparar motor	1	8624,00
Cambio de accesorios	1	3500,00
Cambio de termostatos para el agua	1	50,8
Cambio de termostatos para el aceite	1	64,88
Cambio de turbo cargadores	1	8797,43
Cambio de elemento del micro spin	1	122,11
Cambio de elementos de filtro coalescentes	1	156,97
Cambio de filtros de aceite	1	50,38
Cambio de precleaners y filtros de aire	1	115,34
Cambio de sello de la tapa de filtro de aceite	1	69,00
Cambio de sensores de oxigeno (según condición)	1	127,72
Cambio de filtro de desfogue de gases del cárter	1	145,00
Cambio de aceite	1	300,00

Elaborado por: Henry Díaz

4.1.2 Costo preventivo moto generador Caterpillar

Se realiza los mantenimientos según un periodo específico como explica la tabla 10 que describe el costo del diésel, según la agencia de regulación y control hidrocarburífero del Ecuador, además se muestra los costos de insumos que se utilizan para el mantenimiento preventivo el cual se lo realiza cada 350 horas de funcionamiento del moto generador, dicho mantenimiento dura un estimado de 84 horas el cual requiere la paralización del mismo, el cual genera 2300 kW/h, con una potencia activa de 1800 Kw [48].

Tabla 10. Costos de consumibles preventivos del moto generador Caterpillar

Insumo	Cantidad	Costo
Diésel (USD/galón)	1	2,3
Aceite (15gl)	1	1100,00
Filtro aire	2	145.74
Filtro de aceite	2	250.14
Filtro primario de combustible	1	350.85
Lubricación poleas y rodamientos	1	250,00
Limpieza general	1	480,00
Pruebas punto a punto equipos eléctricos y electrónicos	1	3150,00
Cambio de mangueras y abrazaderas	1	850,00
Mano de obra (hora)	40	2100,00

Elaborado por: Henry Díaz

Según los datos adquiridos que se muestran en el capítulo 3 en la tabla 2, el consumo de diésel del generador Caterpillar es 143,7 galones por hora, con este dato se calcula el consumo de diésel mensualmente entregando un consumo de 103514 galones, ahora realizando el cálculo por el costo del diésel en dólares entrega un costo de consumo de combustible 238082,00 USD al mes.

Este generador entrega un total de 1656000 kWh mensualmente, el costo del kWh es de 0,10 centavos según fuentes del ministerio de energía y recursos naturales no renovables, saldría un total de 165600,00 dólares al mes, ahora se calcula el costo del kW/h que entrega el motor en función del consumo de combustible sobre la potencia máxima (22) [48] [49].

$$\frac{\$}{kW-h} = \frac{(CV)_{comb}}{Pot_{max}} \quad (22)$$

Remplazando los valores en la ecuación (22)

$$\frac{\$}{kW-h} = \frac{143,769 \$/h}{1800 kW}$$

$$\frac{\$}{kW-h} = 0,079$$

Entonces el costo es de 7,9 centavos por kW hora, esto representa un ahorro del 21%, cabe recalcar que en este cálculo se tomó en cuenta el costo del mantenimiento preventivo el cual se lo realiza cada 350 horas, estos costos se muestran en la tabla 10, en la tabla 11 y en tabla 12 se muestran los costos del mantenimiento predictivo y correctivo respectivamente.

Tabla 11. Costos de consumibles predictivo de la moto generador Caterpillar

Insumo	Cantidad	Costo (\$)
Mantenimiento general	1	11500,00
Cambio de empaques	1	234396,00
Cambio de termostatos para el agua	1	320,8
Cambio de termostatos para el aceite	1	214,25
Cambio de filtros de aceite	2	250,14
Cambio de filtros de aire	2	145,74
Cambio de filtros de combustible	3	85,48
Cambio de empaques	1	2495,99
Cambio de chumaceras	1	249,45
Cambio de mangueras y abrazaderas	1	850,00
Cambio de refrigerante	1	375,00
Cambio de sello de la tapa de filtro de aceite	1	169,00
Cambio de sensores de oxígeno (según condición)	1	427,72
Cambio de filtro de desfogue de gases del cárter	1	545,00
Cambio de aceite	1	1100,00

Elaborado por: Henry Díaz

Tabla 12. Costos de consumibles correctivos de la moto generador Waukesha

Insumo	Cantidad	Costo (\$)
Mantenimiento general	1	11500,00
Cambio de cabezotes	6	12000,00
Cambio de empaques	1	234396,00
Cambio de inyectores	20	485,75
Cambio de termostatos para el agua	1	320,8
Cambio de termostatos para el aceite	1	214,25
Cambio de filtros de aceite	2	250,14
Cambio de filtros de aire	2	145,74
Cambio de filtros de combustible	3	85,48
Cambio de empaques	1	2495,99
Cambio de chumaceras	1	249,45
Cambio de mangueras y abrazaderas	1	850,00
Cambio de refrigerante	1	375,00
Cambio de sello de la tapa de filtro de aceite	1	169,00
Cambio de sensores de oxígeno (según condición)	1	427,72
Cambio de filtro de desfogue de gases del cárter	1	545,00
Cambio de aceite	1	1100,00

Elaborado por: Henry Díaz

4.2 Conclusiones del capítulo

En el actual capítulo esta detallada los costos totales directos e indirectos, estudio de gastos semejantes con energías renovables facilitando paso a una conservación del 80% en las motos generadores Waukesha y un 21% en la moto generador Caterpillar los montos de mantenimiento en las unidades de generación tienen un monto cada porcentaje de horas como se muestra detallada en las tablas.

El análisis económico del proyecto para beneficio de la industria y la recuperación de los montos invertidos son valores remontables en un corto plazo y así generando su propia energía las veinte cuatro horas del día.

CONCLUSIONES

- Se realiza el análisis de la eficiencia térmica en dos tipos de generadores, los cuales se distinguen por el tipo de combustible que usan para su funcionamiento, la moto generador Waukesha este funciona con GLP (gas licuado de petróleo) y el CATERPILLAR el mismo que funciona con diésel, cada uno entrega 1200 kW y 910 kW respectivamente [49] además se constató sus aspectos técnicos, térmicos, tableros de control y elementos electrónicos estos elementos son de gran utilidad para la recolección de todos los datos requeridos, tanto para el cálculo y para la supervisión de su correcto funcionamiento.
- Con respecto a los resultados de las eficiencias, consumo de combustible, potencia y rendimientos volumétricos en las pruebas, es necesario mencionar que, tomando la comparación de las eficiencias, consumo de combustible, potencia y rendimientos volumétricos de años anteriores, las unidades estudiadas están con los rangos permitidos (+/- 5%). Estos valores pueden deberse a la forma en que se realiza la declaración de rendimientos en la central debido a las limitaciones de instrumentación existentes.
- Comparándose el rendimiento obtenido en unidad de generación, que el de gas es la más eficiente que el diésel, se observa una diferencia entre el 4% entre unidades de generación, esto indica que dicho comportamiento es causa del tiempo de las unidades cumplen con las mismas rutinas.
- De acuerdo al análisis termodinámico realizado del ciclo diésel, de la central, se obtuvo una eficiencia del 25,6 % para su máxima potencia, siendo estos valores discrepantes a los informados por el fabricante en la hoja de datos del equipo en un 3%.
- Mediante análisis económico, se puede constatar que el costo de kilovatio hora en el Ecuador es de 10 centavos de dólar según el Ministerio de Recursos Renovables y no renovables, analizando el generador Waukesha genera 540000 kW por mes, tomando en cuenta el consumo de combustible al mes y comparándolo con el costo de kW/h para este generador se obtiene un ahorro del 80%, en comparación si se comprase la energía. Para el generador Caterpillar se realizó el mismo cálculo, esta entrega un ahorro del

21%, generando en las plantas de producción de crudo para el proceso de producción y refinación de petróleo.

- A pesar de contar con unidades de generación de entre los 36 a 40 años de fabricación, se observa que producto de la conservación y mantenimiento que se le ha dado a las unidades ha permitido seguir aportando energía dentro de sus límites declarados con una eficiencia teórica por el fabricante de un 40% en equipos nuevos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implantación de un sistema de medición actualizado de consumo de combustible que permita el censado de dicho gasto de una forma más precisa, lo que optimizaría la programación de despachos de energía y así podrían ser considerados los valores para la gestión de mantenimiento.
- Realizar evaluaciones cada 2 veces al año en las unidades para determinar daños mecánicos y ser corregida con el fin de obtener rendimientos similares entre los equipos, es posible que este comportamiento se deba a intervenciones anteriores y dado que no se dispone de los equipos propios necesarios para determinar los rendimientos de cada unidad, ha sido pasado por alto, ya que visualmente no es perceptible la diferencia indicada entre las unidades.
- Realizar una inspección técnica usando técnicas de mantenimiento predictivo para evaluar el estado de las instalaciones eléctricas y mecánicas, así como los parámetros o variables de funcionamiento
- Inspeccionar y verificar los controles de medidas de fluidos antes de iniciar las labores con las motos generadores, conexiones y riesgos de fugas de combustibles.
- Verificar las hojas de mantenimiento para precautelar los elementos mecánicos y así conservar en buenas condiciones.
- Evaluar la posibilidad de inversión en la instrumentación y actualización de sus componentes principales y secundarios que le permitan continuar aportando a su capacidad efectiva de forma eficiente y segura.
- Realizar rutinas de operación semanalmente, de por lo menos 30 minutos, que permita la circulación del aceite lubricante y combustible a través de sus sistemas, y detectar cualquier anomalía que pueda presentar las unidades debido a la poca operación que se le da a la central.
- Tener los combustibles que son altamente inflamables en lugares abiertos y tener un sistema de seguridad contra incendios para disminuir accidentes laborales, con los equipos debidamente ordenados.

- Tener una buena señalización para precaución de equipos en marcha en el límite de cada parámetro, verificar su funcionalidad y desempeño en las horas de trabajo.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] J. S. Puentestar Bedón, Grupos estacionarios diésel y la contaminación ambiental en la florícola, Quito, 2019.
- [2] Nižetić Ante Kozina Gojmir Radica Sandro, «Analysis of methods towards reduction of harmful pollutants from diesel engines,» *ELSEVIER*, vol. 262, 2020.
- [3] Backhaus, Richard, «We Still Need Diesel Engines,» *Springer Fachmedien Wiesbaden*, vol. 80, nº 3, pp. 6-7, 2019.
- [4] Kai Wang, Daming Sun, Jie Zhang, Ya Xu, Kai Luo, Ning Zhang, Jiang Zou, Limin Qiu, «An acoustically matched traveling-wave thermoacoustic generator achieving 750 W electric power,» *ELSEVIER*, vol. 1, pp. 313-321, 2016.
- [5] Harper, Gilberto Enríquez, EL LIBRO PRÁCTICO DE LOS GENERADORES TRANSFORMADORES Y MOTORES ELÉCTRICOS, México: Limusa, 2004.
- [6] Luck, Edgar J. Kates / William E., Motores Diesel y de gas de alta compresión, Barcelona: Reverté S.A., 2003.
- [7] Heredia, Eladio Aranda, Funcionamiento del motor diesel, España: Ministerio de Agricultura. Sección de Publicaciones, Prensa y Propaganda.
- [8] Adams, Orville, Motores diesel, California: Gustavo Gili,, 2008.
- [9] Antimiichuk, Anna, «Fuel Consumption Monitoring and Diesel Engines,» *Springer*, vol. 3, nº 9, pp. 52-55, 2014.
- [10] Yeh, Sonia, «An empirical analysis on the adoption of alternative fuel vehicles:,» *ELSEVIER*, vol. 1, nº 1, pp. 2-3, 2007.
- [11] Rolle, Kurt C., Termodinámica, México: Pearson Educación.

- [12] R. Shigenobu, M. Kinjo , P. Manda , P. Mandal , AM Howlader , T. Senjyu, «Método de operación óptimo para sistemas de distribución considerando generadores distribuidos impartidos con incentivo de potencia reactiva,» de *Ciencias aplicadas, Appl. Sci.*, 2018, pp. 1-23.
- [13] Fuchs, Andreas, «Clean Diesel Engines,» *ATZheavy duty worldwide*, vol. 10, nº 3, pp. 6-7, 2017.
- [14] Zhou, Liu, Lee, Yin., «Experimental study on combustion, emissions and thermal balance of high compression ratio engine fueled with liquefied methane gas,» *ELSEVIER*, vol. 1, nº 1, pp. 4-5, 2019.
- [15] Boles, Yunes A Cengel y Michael A., *Termodinámica*, México: Mc Graw Hill, 2011.
- [16] Buckius, John R. Howell Richard O, *PRINCIPIOS DE LA TERMODINÁMICA PARA INGENIEROS*, México: Mc Graw Hill, 1990.
- [17] Rodriguez, Jorge A, *Introduccion a la Termodinamica*, Universidad Tecnológica Nacional.
- [18] Carnot, Sadi, *Reflexions on the motive power of fire*, Manchester: Lilian Barber Press, INC., 1986.
- [19] Ahmed E. Elwardany, Mohamed N.Marei, YehiaEldrainy, Rehab M.Ali, MohamedIsmail, Mohamed M.El-kassaby, «Improving performance and emissions characteristics of compression ignition engine: Effect of ferrocene nanoparticles to diesel-biodiesel blend,» *ELSEVIER*, vol. 1, pp. 1-8, 2020.
- [20] Cheolwoong Park, Sungwon Lee, Gihun Lim, Young Choi, Changgi Kim, «Full load performance and emission characteristics of hydrogen-compressed natural gas engines with valve overlap changes,» *ELSEVIER*, vol. 123, pp. 101-106, 2014.
- [21] Kodal, Ahmen Ilyas, «Comparative performance evaluations of various optimization functions for irreversible Otto cycles,» *ELSEVIER*, pp. 4-5, 2019.

- [22] Ahmet Ilyas Kodal, Ali Kodal, «Comparative performance evaluations of various optimization functions for,» *ELSEVIER*, pp. 3-4, 2020.
- [23] Chih Wu, Paul V. Puzinauskas, Jung S Tsai, «Performance analysis and optimization,» *PERGAMON*, vol. 1, pp. 511-521, 2003.
- [24] Acebes, Santiago Sanz, Motores, Transporte y Mantenimiento de Vehiculos.
- [25] Mengzhu Zhang, Yunshan Ge, Xin Wang*, «An investigation into the impact of burning diesel/lubricant oil,» *ELSEVIER*, pp. 4-5, 2019.
- [26] Nicholas W. Tang, Joshua S. Apte, Philip T. Martien, Thomas W. Kirchstetter, «Measurement of black carbon emissions from in-use diesel-electric,» *ELSEVIER*, pp. 5-6, 2014.
- [27] Young Sung Ghim, Jin Young Kim, Young-Soo Chang, «Concentration Variations in Particulate Matter in Seoul Associated with Asian,» *Copyright © Taiwan Association*, pp. 4-7, 2017.
- [28] Parera, Albert Martí, Inyección electrónica en motores diesel, Barcelona: MARCOMBO S.A., 1956.
- [29] Abedin, M.J. & Masjuki, H.H. & Kalam, M.A. & Sanjid, A. & Rahman, S.M. Ashrafur & Masum, «Balance energético de los motores de combustión interna utilizando combustibles alternativos,» *Elsevier*, pp. 20-33, 2013.
- [30] John R. Howell, Richard O. Buckius, Principios de termodinámica para ingenieros, Mexico: McGRAW-HILL, 1990.
- [31] Robert BOSH GmbH, Gestión del motor de gasolina. Fundamentos y componentes, ALEMANA, 2002.
- [32] Lapedes, D N, ENERGY TECHNOLOGY ENVIRONMENT, 1955.
- [33] MIGUEL ANGEL ROJAS RIVERA, «INCREMENTO DE EFICIENCIA DE UN MOTOR DE,» Mexico, 2007.

- [34] Johannes Haller, Thomas Link, «Thermodynamic concept for an efficient zero-emission combustion of hydrogen and oxygen in stationary internal combustion engines with high power density,» *ELSEVIER*, vol. 1, p. 3, 2017.
- [35] DEMOTOR, «INGENIERÍA DEL MOTOR,» [En línea]. Available: <https://demotor.net/>. [Último acceso: 05 08 2020].
- [36] James P. Szybist, Derek A. Splitter, «Understanding chemistry-specific fuel differences at a constant RON in a boosted SI engine,» *ELSEVIER*, pp. 2-3, 2017.
- [37] E.M. Chapman, V.S. Costanzo, «A literature review of abnormal ignition by fuel and lubricant derivatives,» *SAE*, p. 3, 2016.
- [38] Juan Carlos Goñi, Mario Rojas Delgado, *Manual de Combustibles Alternativos y Tecnología Automotriz*, Lima: Fondo Editorial, 2017.
- [39] Yunus A. Cengel, Afshin J. Ghajar, *Transferencia de calor y masa*, Mexico: Mc Graw Hill, 2011.
- [40] Luis A. Mena, *Matemática Aplicada a los sistemas de los motores de Combustión Interna*, Quito, 2018.
- [41] G. C. Julián Ferrer, *Mantenimiento mecánico preventivo del vehículo*, Madrid: EDITEX, 2010.
- [42] Edilberto Antonio Llanes-Cedeño, José Bolívar Carguachi-Caizatoa, Juan Carlos RochaHoyos, «Energy and exergy evaluation in a 1.6L Otto cycle internal,» *Enfoque*, pp. 221-232, 2018.
- [43] M S Jóvaj; Antonio Molina García, *Motores de automóvil : teoría, cálculo y estructura de los motores de combustión interna*, Moscú: MIR, 1973.
- [44] KINDLER, H. y KYNAST, H., *Matemática aplicada para la técnica del automóvil*, Murcia: Librería La Candela, 2009.

- [45] Waukesha, DRESSER, 2004. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/DELL/OneDrive/Escritorio/Datos%20motor%20Gas.pdf>. [Último acceso: 05 Abril 2021].
- [46] CATERPILLAR, «SAFETY.CAT.COM,» SAFETY, Enero 2009. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/DELL/OneDrive/Escritorio/Datos%20motor%20diesel.pdf>. [Último acceso: 10 Abril 2021].
- [47] Edilberto Antonio Llanes-Cedeño, José Bolívar Carguachi-Caizatoa, Juan Carlos Rocha-Hoyos, «(Energy and exergy evaluation in a 1.6L Otto cycle internal,» *Enfoque UTE*, vol. 9, nº 4, pp. 221-232, 2018.
- [48] AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL HIDROCARBURIFEROS, 08 2021. [En línea]. Available: <https://www.controlhidrocarburos.gob.ec/>.
- [49] Fajardo Cuadro, Juan Gabriel, Navas Oscar, Díaz Andrés, «Análisis del desempeño de un motogenerador al usar biodiesel como combustible,» *Red de Revistas Científicas de América Latina*, vol. 1, nº 4, pp. 4-8, 2005.
- [50] L. U. d. Sevilla, Universidad de Sevilla, 10 01 2015. [En línea]. Available: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel. [Último acceso: 15 11 2019].
- [51] E. Haper, «Generador Eléctrico,» de *El libro Práctico de los generadores, transformadores y Motores Eléctricos*, México, Limusa S:A., 2004, pp. 1-3.
- [52] M. M. R. A. I. y. c. Kramer, «Perspectivas de imanes permanentes de tierras no raras para motores y generadores de tracción,» *SPRINGER*, vol. 1, nº 1, pp. 752-763, 2012.
- [53] O. Z. A. V. a. O. L. Serhii Ponomarenko¹, «Thermodynamic analysis of the gas parameters distribution under leakage from a closed volume with rigid walls,» *E3S Web of Conferences*, vol. 109, p. 7, 2019.
- [54] E.F., OBERT, Motores de Combustión Interna (Análisis y aplicaciones), México: Continental S.A., 1997.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla de poder calórico de combustibles

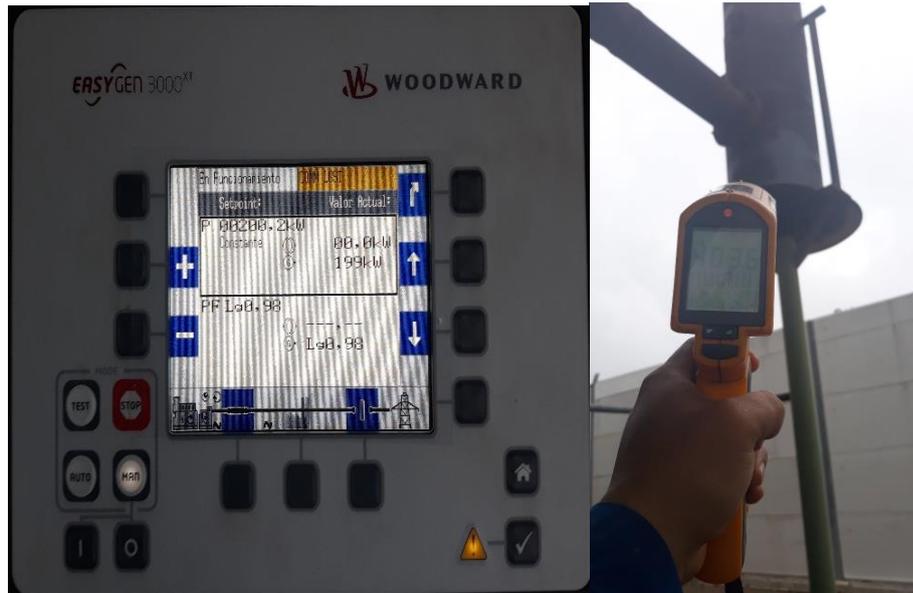
Poderes caloríficos de las principales fuentes energéticas

Tipo de combustible	PCI (GJ/t)	PCI (kWh/Kg)	PCI (kcal/Kg)	PCI (tep/t)
Petroleo Bruto	42,55	11,82	10.190	1,0190
Materias primas de refinería	39,88	11,08	9.550	0,9550
GLP	45,89	12,75	10.990	1,0990
Propano	46,20	12,83	11.063	1,1063
Butano	44,78	12,44	10.723	1,0723
Queroseno	42,89	11,91	10.270	1,0270
Gasolina	43,89	12,19	10.510	1,0510
Gasolina aviación	43,89	12,19	10.510	1,0510
Gasóleo automoción	42,47	11,80	10.170	1,0170
Otros gasóleos	42,47	11,80	10.170	1,0170
Fuelóleo	39,88	11,08	9.550	0,9550
Alquitrán	39,88	11,08	9.550	0,9550
Nafta	43,89	12,19	10.510	1,0510
Lubricantes	39,88	11,08	9.550	0,9550
Coque de petróleo	31,90	8,86	7.640	0,7640
GNL	45,10	12,53	10.800	1,0800
Gas natural				
Metano	50,00	13,89	11.973	1,1973
Etano	47,51	13,20	11.350	1,1350
Gas de refinería	49,36	13,71	11.820	1,1820
Gas de coquería				
Gas de alto horno				
Biogases en general				
Biogás pobre				
Biogás de vertedero				
Biogás de depuradora				

Fuente [35]

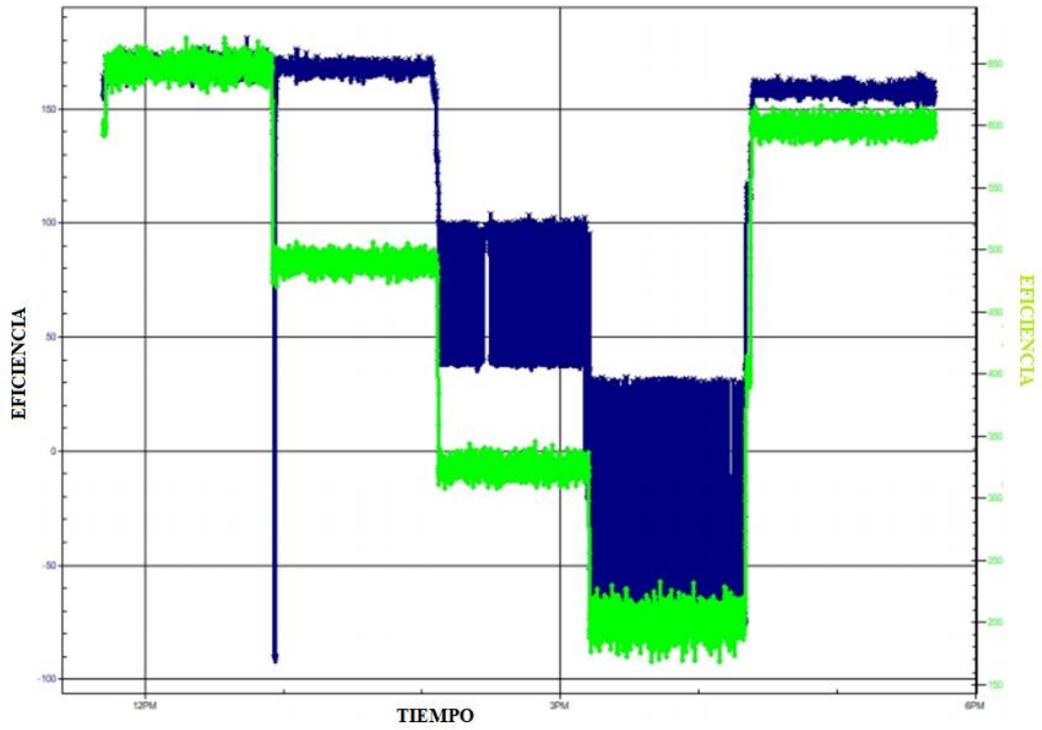
Anexo 2
Imágenes de datos de unidades de generación



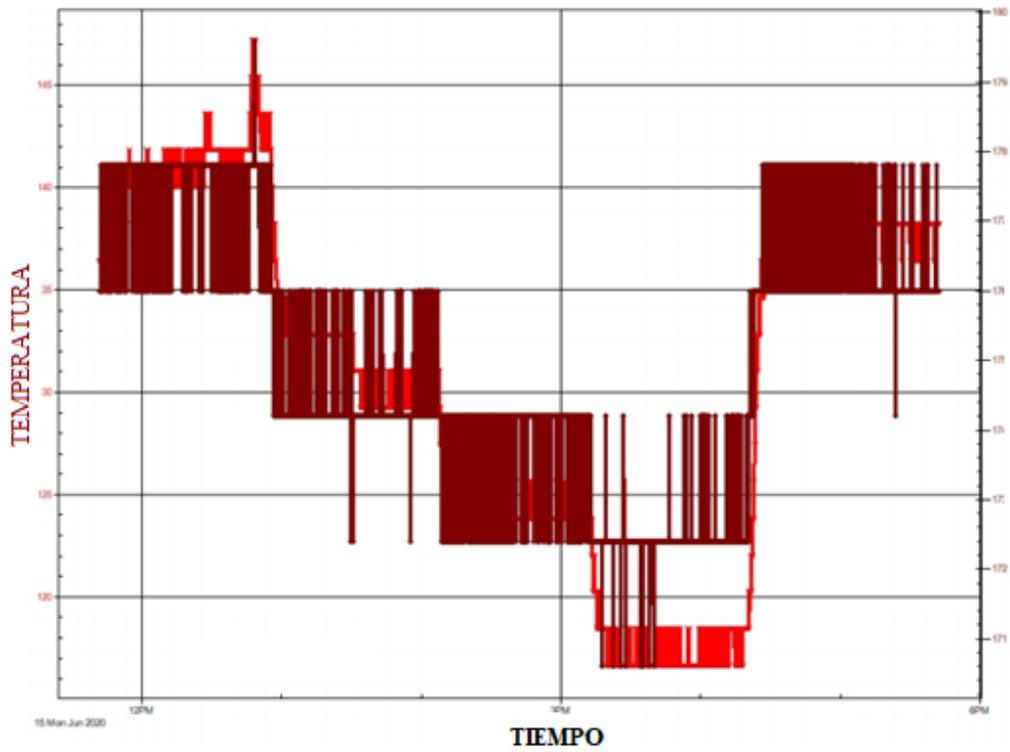


Fuente [46]

Anexo 3 Tabla de Potencia

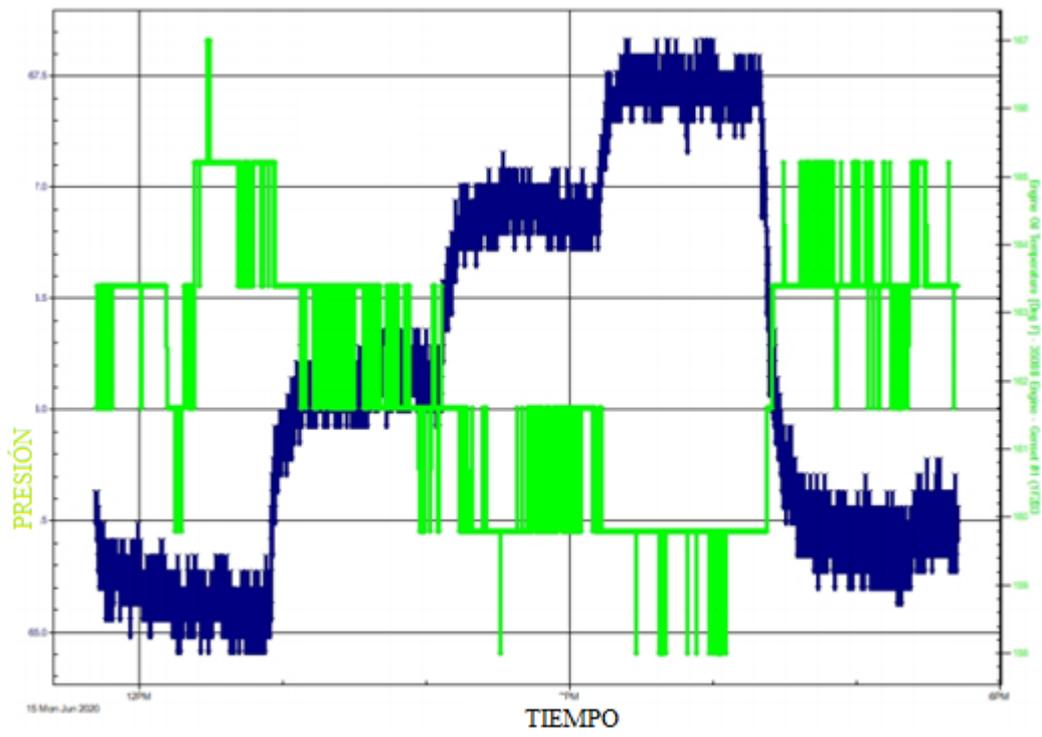


Anexo 4 Tabla de temperaturas de refrigerante

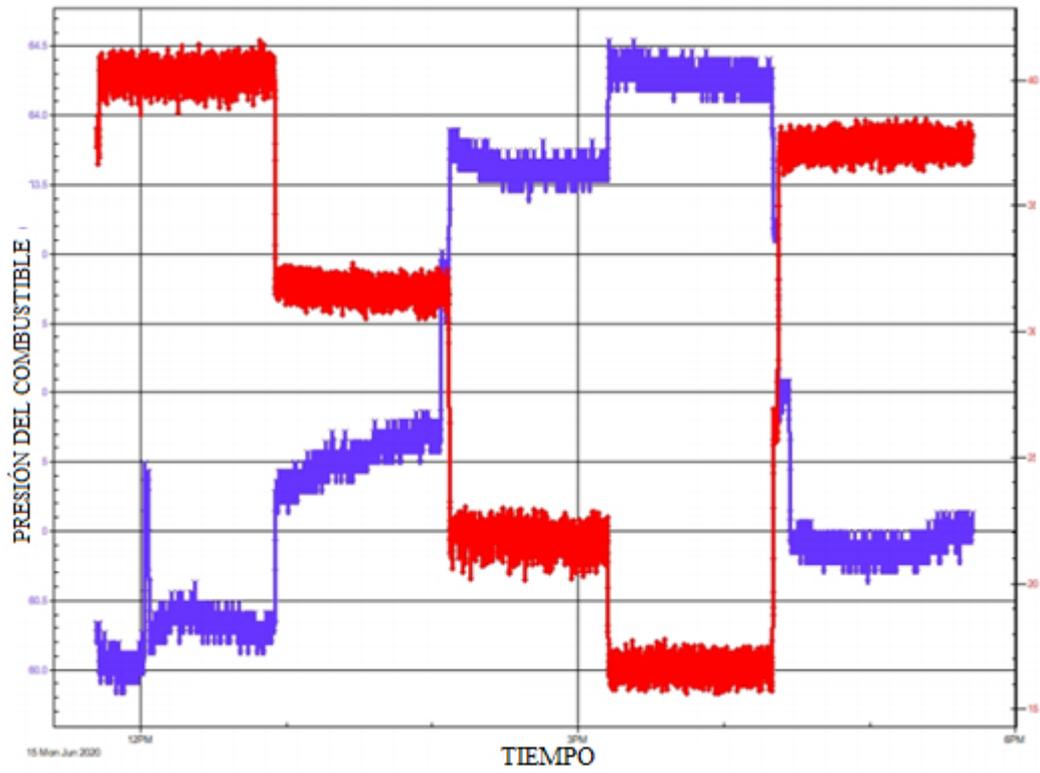


Anexo 5

Tabla de aceite de la unidad de generación

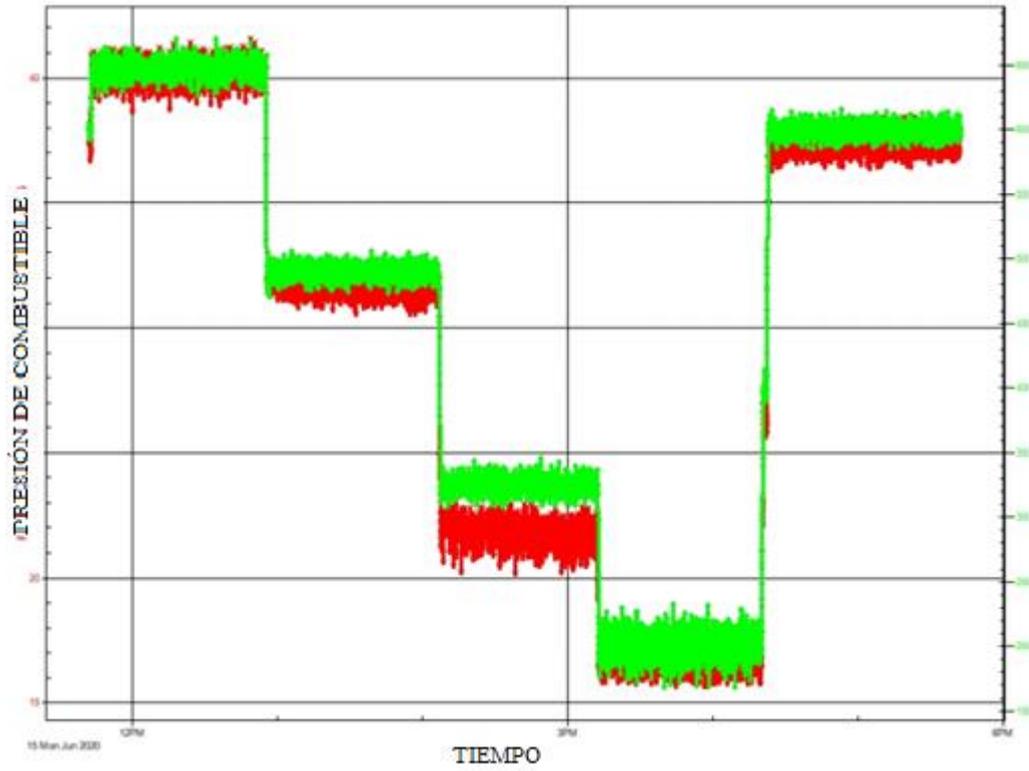


Anexo 6
Tabla de consumo de combustible

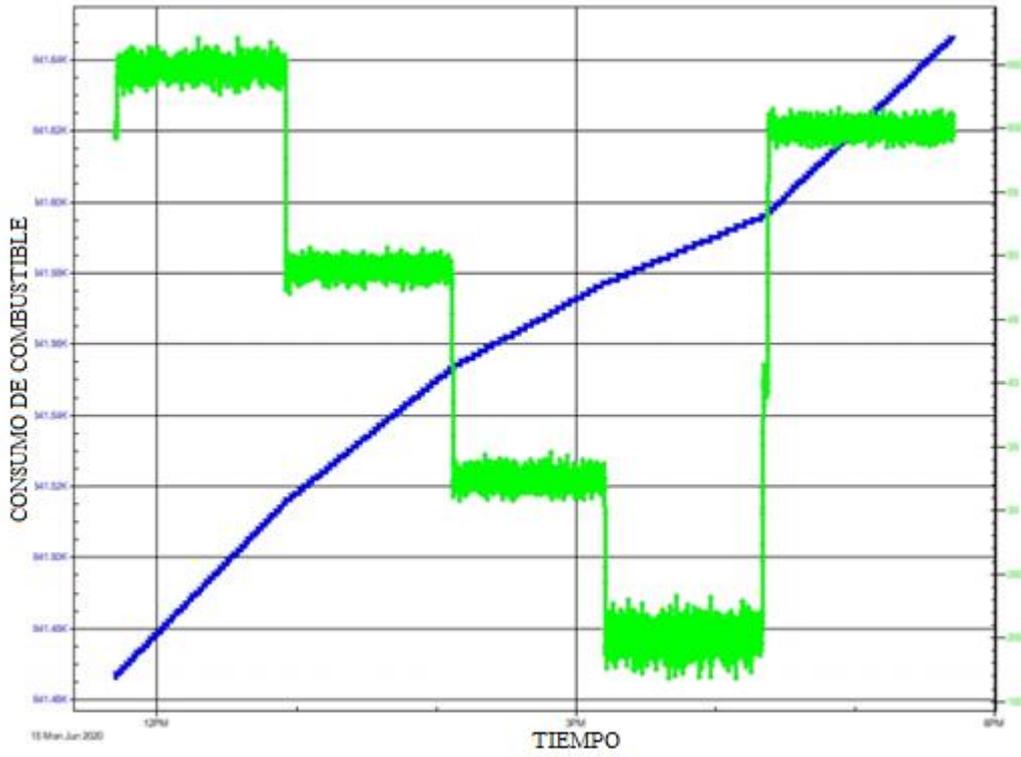


Anexo 7

Tabla de energía vs consumo de combustible



Anexo 8
Tabla de combustible total vs potencia



Anexo 9
Tabla de energía del generador

