

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK
Facultad de Arquitectura e Ingeniería
Ingeniería Mecánica Automotriz

Tema: Análisis de Rendimiento y Emisiones de un Motor Caterpillar de serie 3054 alimentado con Diésel y biodiésel.

Jefferson Paul Tonguino Santana

Nota del autor

Jefferson Paul Tonguino, Facultad de Ingeniería Arquitectura e Ingeniería, Universidad Internacional SEK.

Director: Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño, PhD.

Cualquier correspondencia concerniente a este trabajo puede dirigirse a:
jefferson.tonguino1991@gmail.com

Declaración Juramentada

Yo, Jefferson Paul Tonguino Santana, con cédula de identidad 1718308917, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Jefferson Paul Tonguino Santana

C.I.: 1718308917

Índice

Dedicatoria..... 9

Resumen 10

Abstract..... **Error! Bookmark not defined.**

Introducción 11

Planteamiento..... 12

Objetivo General 14

Objetivos Específicos 14

 Energía y Exergía.....15

 Emisiones.....16

 Eficiencia energética.....18

 Trabajos previos.....19

Método..... 26

Metodología para la medición de datos en un Generador Eléctrico Caterpillar 28

Procedimiento de medidas de los parámetros necesarios 29

 Panel Motor Caterpillar 3054 (resultados obtenidos).....30

 Medición de caudal de combustible.....31

 Medición de Caudal de Biodiésel.....31

Sistema de Aire 32

 Medición del Flujo de aire.....32

Sistema Refrigerante.....	33
Caudal de agua.....	33
Medición de Temperatura Aire.....	33
Medidor de Temperatura de Agua.....	34
Metodología para la Evaluación de Emisiones en un Motor Caterpillar 3052.	35
Procedimiento de Pruebas.....	36
Modelos utilizados en los análisis Energéticos y Exergéticos	37
Primer Modelo Termodinámico (Modelo Base)	37
Balance Energético de la Central Diesel.....	38
Balance Exegético.....	42
Calor Específico la Presión Constante	44
Análisis estadístico	45
Resultados.....	47
Calculo final del rendimiento energético.....	52
Calculo final del rendimiento exergético.....	52
Emisiones.....	53
Resultado final de emisiones del diésel.....	53
Resultado final de emisiones B20.....	53
Opacidad.....	54
Resultado final de opacidad del diésel.....	54
Resultado final de opacidad B10.....	54
Resultado final de opacidad B20	55

Diagramas energéticos de Sankey55

Discusión.....57

Rendimientos Energéticos y Exegéticos57

Pruebas de Múltiples Rangos58

Determinación de Emisiones59

Pruebas de Múltiple Rango 60

Conclusiones.....62

Recomendaciones64

Bibliografía.....68

Lista de Figuras

<i>Figura 1.</i> Esquema Básico del Generador Estudiado.....	28
<i>Figura 2.</i> Panel de Daros Obtenidos del Motor Caterpillar.....	30
<i>Figura 3.</i> Medidor del Flujo de Combustible	31
<i>Figura 4.</i> Medidor del Flujo de Combustible	32
<i>Figura 5.</i> SENSOR MAF	32
<i>Figura 6.</i> Medidor de Agua Corro Múltiple de 2pug.....	33
<i>Figura 7.</i> Sensor IAT Instalado en el Motor Caterpillar.	34
<i>Figura 8.</i> Trompos de Temperatura de Agua.	34
<i>Figura 9.</i> Manómetro de Temperatura de Escape.....	35
<i>Figura 10.</i> Medidor de Emisiones.....	36
<i>Figura 11.</i> Medidor de Opacidad.....	36
<i>Figura 12.</i> Diagrama energético de sankey diésel 100%.	55
<i>Figura 13.</i> Diagrama energético de sankey diésel 90% y biodiesel 10%.	56
<i>Figura 14.</i> Diagrama energético de sankey diésel 80% y biodiesel 20%.	56

Lista de Tablas

Tabla 1 Poder calorífico inferior de los combustibles.40

Tabla 2 Los Calores específicos.40

Tabla 3 Datos finales de las pruebas de temperatura de aire del turbo diésel al 100%.48

Tabla 4 Datos finales de las pruebas de presión del turbo diésel al 100%.48

Tabla 5 Datos finales de las pruebas de temperatura de agua en el radiador de diésel al 100%.48

Tabla 6 Dato final de la prueba de temperatura de escape de diésel al 100%.48

Tabla 7 Dato final del MAF diésel al 100%.49

Tabla 8 Datos finales de las pruebas de temperatura de aire en el turbo de diésel al 90% y biodiesel 10%49

Tabla 9 Dato final de las pruebas de presión del turbo de diésel 90% y biodiesel 10%.49

Tabla 10 Datos finales de las pruebas de la temperatura de agua en el radiador de diésel 90% y biodiesel 10%.50

Tabla 11 Dato final de la prueba de temperatura de escape de diésel 90% y biodiesel 10%.50

Tabla 12 Dato final de la prueba del MAF diésel 90% y biodiesel 10%.50

Tabla 13 Datos finales de las pruebas de temperatura de aire en el turbo diésel 80% y biodiesel 20%.51

Tabla 14 Dato final de la prueba de presión del turbo diésel 80% y biodiesel 20%.51

Tabla 15 Datos finales de las pruebas de temperatura de agua del radiador diésel 80% y biodiesel 20%.51

Tabla 16 Dato final de la prueba de temperatura de escape diésel 80% y biodiesel 20%.51

Tabla 17 Dato final de la prueba de MAF diésel 80% y biodiesel 20%.52

Tabla 18 Calculo final del rendimiento energético diésel, biodiesel B10 y biodiesel B20.52

Tabla 19 Calculo final del rendimiento exegético diésel, biodiesel B10 y biodiesel B20.52

Tabla 20 Calculo final de las emisiones de gases diésel al 100%.53

Tabla 21 Calculo final de las emisiones de gases diésel al 90% y biodiesel 10%.53

Tabla 22 Calculo final de las emisiones de gases diésel al 80% y biodiesel 20%.54

Tabla 23 Calculo final de la opacidad diésel 100%.54

Tabla 24 Calculo final de la opacidad diésel 90% y biodiesel 10%.54

Tabla 25 Calculo final de la opacidad diésel 80% y biodiesel 20%.55

Tabla 26 Calculo estadístico energético anova57

Tabla 27 Calculo estadístico energético anova.57

Tabla 28 Calculo estadístico energético lsd.58

Tabla 29 Calculo estadístico exegético lsd.59

Tabla 30 Calculo estadístico anova de emisiones.59

Tabla 31 Calculo estadístico lsd de emisiones.61

Dedicatoria

Leno de regocijo, de amor y esperanza, dedico este proyecto, a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares, para seguir adelante.

Es para mí una gran satisfacción poder dedicarles a ellos, con mucho esfuerzo, esmero y trabajo me lo he ganado.

A mis padres Fatima Santana y Pedro Tonguinno, por que gracias a ellos soy quien soy, son la motivación de mi vida mi orgullo de ser lo que seré, se les dedico a usted con mucho amor les amo.

A mis hermanos, Karen, Mariela, Paola, Juan, Iván, a mi novia Michelle, gracias por sus palabras por todo lo que me andado para poder cumplir esta meta tan anhelada, me siento tan orgulloso de tenerlos conmigo.

Y Sin dejar atrás a toda mi familia por confiar en mi, gracias por ser parte de mi vida y por permitirme ser parte de la suya.

Resumen

El empleo de combustibles alternativos en motores de combustión interna ha sido estudiado como una alternativa para minimizar el impacto ambiental, en el desarrollo de este tipo de tecnologías. En el siguiente estudio se tiene como objetivo evaluar el comportamiento mecánico y ambiental de un motor Caterpillar serie 3054 con mezclas de combustibles diésel y biodiésel por medio del balance energético, exergéticos y medición de gases producto de la combustión para la definición de la mejor variante. Para ello se realizó un experimento factorial donde se toma como caso de estudio el motor Caterpillar serie 3054 el cual se analiza con Diesel y Biodiésel B10 y B20, evaluándose de esta manera el rendimiento energético y exergético y las emisiones producto de la combustión donde se midieron los gases que son (CO y NO) y la opacidad mediante los cuales se obtuvo como resultado un mejor comportamiento y rendimiento con el Biodiésel B20, pues reduce el impacto ambiental necesario y normativo impuesto por las leyes de la región.

Introducción

La eficiencia energética se halla desde la década de 1790, en donde las máquinas de vapor de Boulton y Watt daban una ventaja competitiva porque eran más eficientes y consumían menos y en la Segunda Guerra Mundial la eficiencia del combustible se convirtió en algo vital para todos los involucrados. Sin embargo, la gestión de la energía como disciplina separada comenzó a evolucionar después de la primera crisis petrolera de 1973 y realmente entró en vigor tras la segunda de 1979, cuando los precios reales de la energía subieron dramáticamente (Santo, 2013).

Una parte fundamental en la rama de la energía, que engloba partes de la misma es la exergía, el cual fue un término introducido por Rant en el año de 1956, se refiere a que es una porción de energía que se transforma en trabajo mecánico. La exergía es un parámetro o premisa que mide la calidad de la energía que se puede emplear para analizar la eficiencia energética de los distintos procesos industriales (Verma, 2017).

El inventor francés Denis Papin en el año 1687 construye su primera máquina de vapor capaz de moverse por sí sola, pero después, el triunfo del ingeniero James Watt con su otra máquina de vapor a mediados del siglo XIX funcionaba bien pero tenía un poco de fallos los cuales con el tiempo dieron paso a la máquina de combustión interna más sofisticada la cual consistía en que el combustible inyectado, mezclado con aire, se hace estallar para mover un pistón dentro de un cilindro, pues resultó ser la solución más adecuada. (Villegas, 2016).

“El uso de los aceites vegetales como combustible y fuente energética podrá ser insignificante hoy, pero con el curso del tiempo será tan importante como el petróleo y el carbón” (Diesel, 1899).

Por lo tanto la generación de nuevas fuentes de procesos energéticos, se remonta en el uso de combustibles biodegradables pues ocuparan un gran espacio en la actualidad considerando al

Biodiésel como uno de ellos, que tuvo sus inicios de 1970 en el cual se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética y los elevados costos petroleros en el año de 1982, en Austria y Alemania se llevaron a cabo las primeras pruebas con biodiesel, 1985 en Silberberg (Austria) se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a base de las semillas de colza o canola.

En la actualidad, Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son los países pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles, debido a la fluctuación de los precios del petróleo y la demanda de combustibles de las fuentes de energía con mayor incidencia se ha tenido que identificar nuevas fuentes de energía como, potencial alternativo a fósiles para diferentes energías y necesidades, como la calefacción, la generación de electricidad y transporte de combustible para los motores de combustión interna (Verma, 2017).

Sin embargo, la presencia de cantidades importantes de gases tanto como (CO_2 y N_2) en biodiésel, reduce su calor, valor, flama y apresura el deterioro en rendimiento y emisión. Por ello un mundo más sostenible requerirá la implementación de equipos, sistemas y procesos de alta eficiencia para una significativa reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la conservación de los combustibles fósiles. Electricidad la producción es una de las principales causas de los altos niveles actuales de efecto invernadero emisiones de gas (Verma, 2017).

Planteamiento

Con la actual crisis energética mundial del mundo en el cual desarrollamos, saber aprovechar y utilizar de forma eficiente todas las posibilidades de generación de energía son de fundamental importancia. Los motores de combustión interna se utilizan ampliamente para este propósito a través de su aplicación en la industria de la ingeniería mecánica, siendo este el caso. Para lograr

un buen aprovechamiento es necesario conocer el cómo cada proceso de la industria mecánica contribuye a las pérdidas, tanto de energía y de exergía. Para realizar dichos análisis, varios modelos mecánicos se utilizan. En algunos de ellos los modelos mecánicos se consideran simplificaciones y es muy importante entender cuando tales simplificaciones son aplicables o no para realizar los balances energéticos y exegéticos.

El grado de responsabilidad social que tiene el ser humano en la actualidad trabaja de forma independiente en la mente del mismo por ello, buscar nuevas soluciones a problemas ambientales es un reto para realizarse en años de trabajo significativo, por ello es necesario tomar medidas para poder frenar los efectos más catastróficos. La forma más directa y obvia para una reducción significativa de emisión de gases de efecto invernadero es través de medidas de eficiencia energética, de sustitución de combustibles con contenido de carbono menor o nulo, y del uso de fuentes renovables de energía. Sin embargo, en la actualidad existen diferentes u otras alternativas como la captación y el almacenamiento de dióxido de carbono (CO_2 Capture and Storage, CCS), que pueden representar una opción viable de mitigación, además de dar lugar a un nuevo sector de actividad económica dentro de la sociedad (Castellanos, 2013).

El biodiésel sostiene varias ventajas que son muy evidentes en su uso, debido a que es una sustancia biodegradable, no explosiva, no inflamable, renovable, no toxica, y dentro de la combustión tiende a generar bajos niveles de emisiones de gases de efecto de invernadero, pues aporta a reducir el impacto ambiental que vendría siendo lo más importante. Además, existe una comparación con el Diésel obtenido a partir de combustibles fósiles, pues el biodiésel posee gran diferencia en algunas de sus propiedades como son el caso de mayor número de metano, punto de inflamabilidad y mejores características de lubricación. El biodiésel es el éster mono alquílico de cadena, de ácidos grasos derivados de recurso renovables como por ejemplo aceites vegetales

o grasas animales, sustancias biodegradables que son utilizados en motores Diésel (Medina et al, 2014).

El biodiésel forma parte del grupo de combustibles que se procesan mediante la reacción de transesterificación de un triglicérido de origen netamente vegetal o animal con alcohol, el cual tiene un proceso de descomposición que puede ser metanol o etanol, debido a que su relación es directamente proporcional para los alcoholes y su peso molecular, se estableció utilizar hidróxido de potasio como catalizador. El termino biodiésel se le puede tomar en cuenta para referirse a toda clase de combustibles alternativos, así como, por ejemplo: aceites vegetales, mezcla de aceites vegetales con gasóleo, micro emulsiones de aceites vegetales, productos de pirolisis de aceites vegetales, ésteres metílicos y etílicos obtenidos a partir de aceites vegetales o grasas animales. Tomando en cuenta que el biodiesel ha tenido mayor importancia a nivel mundial, pues en la actualidad su creciente producción ha sido notoria, debido a esto el término biodiesel hace referencia únicamente a los ésteres nombrados anteriormente (Medina et al., 2014).

Objetivo General

Evaluar el comportamiento mecánico y ambiental de un motor Caterpillar serie 3054 con mezclas de combustibles diésel y biodiésel por medio del balance energético, exergéticos y medición de gases producto de la combustión para la definición de la mejor variante.

Objetivos Específicos

- Instalar la instrumentación en el motor Caterpillar 3054 a partir de la selección de las variables necesarias en el balance energético y exergéticos para la recolección de datos.

- Experimentar con diésel y biodiésel (B10, B20), en el motor Caterpillar 3054 mediante la experimentación para obtención del comportamiento de las variables necesarias en el cálculo energético y exergéticos.
- Valorar el comportamiento de los gases de escape a partir de la medición de los contaminantes y opacidad para la evaluación ambiental.
- Analizar los resultados obtenidos de rendimiento energético, exergéticos y ambiental en el motor Caterpillar 3054, a partir de la evaluación estadística para determinación del combustible con mejor desempeño.

Antecedentes de Energía y Exergía

Mediante el siguiente trabajo, se expone un método para la correcta evaluación de la eficiencia energética, energía y el impacto ambiental de un motor Caterpillar 3054. Se describen las pérdidas que se producen y los valores esperados de las mismas, mediante el uso de equipos no invasivos como el analizador de gases de combustión que determina y da a conocer el perfil de temperatura superficial, el flujo de agua y la composición de cada uno de los gases de combustión, los cuales son útilmente necesarios para el cálculo del rendimiento energético, aplicando los métodos convencionales de forma directa e indirecta y la evaluación energética que valora la irreversibilidad interna de la caldera (Borges,2016).

Por ello la evaluación del grado de sobredimensionamiento en instalaciones juegan un papel muy importante ya que, si se trabajan subutilizadas al momento de la inspección, genera un impacto ambiental que produce el funcionamiento de dicho equipo (Dincer,2013).

Es así como las mayores y más frecuentes pérdidas en un generador específicamente de este tipo son las que ocurren en los combustibles de salida y por radiación al medio. Según evaluaciones que se han realizado en unidades de este tipo, se observa que el peso más importante está en la pérdida de calor sensible con los gases, que alcanza valores que oscilan entre 8 y 30%. Mediante a lo que se puede hablar de temperatura, se aumenta en los gases de

salida de 12 a 16°C, esto puede representar un aproximado crecimiento de 1% en la pérdida de calor sensible en los gases de escape, por ello es recomendable mantener la temperatura más baja posible para los gases de salida. Otro tanto ocurre con la pérdida por radiación, cuyo valor a cargas parciales durante el proceso puede superar el 5 % (Borges,2016).

En un estudio realizado en Serbia, un 25 % de las calderas instaladas, el rendimiento energético se encuentra alrededor del 89,4 %. Los balances ya mencionados, son construidos de la misma forma que los energéticos, con una sola excepción, que la energía se conserva, y la exergía al pasar por un sistema técnico puede ser degradada. En los diferentes componentes de la exergía, se define el rendimiento del sistema de producción de vapor en función de la exergía de la sustancia en flujo (Lelyen, 2015).

Por otro lado, el rendimiento exergético mide el grado de perfección termodinámica de un sistema y se define como la relación entre el beneficio y el gasto exergético (Borges,2016).

Antecedentes de Emisiones

Al hablar de la contaminación atmosférica se puede referir a que es el principal riesgo ambiental para la salud ya sea en nuestro continente como en el resto del mundo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que una de cada nueve muertes en todo el mundo es el resultado de condiciones relacionadas con la contaminación atmosférica que se produce por distintos factores (OMS, 2014).

Los contaminantes atmosféricos más relevantes y peligrosos para la salud, es el material particulado (PM) con un diámetro de 10 micras o menos, que pueden penetrar profundamente en los pulmones humanos e inducir la reacción de la superficie y las células de defensa. La mayoría de estos contaminantes son el producto de la quema indiscriminada de combustibles fósiles, pero su composición puede variar según sus fuentes y orígenes.

Es así que se considera que el aire puro en el medioambiente es un requisito básico de la salud y el bienestar humano dentro de la sociedad. Sin embargo, su contaminación sigue

representando una amenaza importante para la salud en todo el mundo, pues cada día se aumenta cada día más. Según una evaluación de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la carga de enfermedad debida a la contaminación del aire, aproximadamente son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año a los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos). Más de la mitad de esta carga de enfermedad recae en las poblaciones de los países en desarrollo y nuevas tecnologías (OMS, 2014).

Según la (OMS, 2014) durante varias décadas, hasta el día de hoy los cambios ambientales han afectado la salud de los seres humanos y en todo momento el ambiente se ha vuelto cada vez más complejo para la convivencia de la humanidad. Hoy, los enlaces entre salud y medio ambiente nunca han sido tan evidentes, como es el caso de la contaminación atmosférica que presentan las grandes ciudades debido principalmente al gran volumen de emisiones vehiculares, y otros factores que altera el curso natural del ambiente. Todos aquellos contaminantes tienen efectos adversos en la salud de los habitantes, pues provoca principalmente enfermedades respiratorias, transmitidas mediante el aire. Pues algunos compuestos presentes en las emisiones producidas por los vehículos son cancerígenos y mutagénicos.

Con ello el deterioro de la calidad del aire que a diario respiramos ha ido aumentando cada vez más. A esto se le puede relacionar con el incremento de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, lo que constituye uno de los primordiales problemas ambientales y uno de los grandes retos que debe resolver la sociedad y quienes habitan en ella. Los vehículos automotores registran una gran variedad de procesos de emisiones tales como las de combustión y las evaporativas (estas se limitan a emisiones de Compuestos Totales (COTs), entre las cuales se destacan las emisiones evaporativas del motor caliente, de operación, durante la recarga de combustible, en reposo y emisiones diurnas) en la presente investigación se tomará en cuenta exclusivamente las emisiones generadas por el proceso de combustión del motor (Guerra,2014).

El transporte automotor es una de las principales fuentes emisoras de gases contaminantes, producto de la combustión de los motores y los gases que provocan un doble efecto nocivo o dañino. Mientras que algunos de los componentes gaseosos afectan la salud humana como (CO, NOX y HC), mientras que otros llevan al incremento de los gases de efecto invernadero como (CO_2 , CH_4 y N_2O), que son los que inciden en el cambio climático que afecta la tierra (OMS, 2014).

Por lo tanto, una variación en el control de cualquiera de estos factores incidirá de manera circunstancial en una relación de dichos contenidos, lo que genera de forma inmediata aire más limpio para nuestra ciudad y un futuro mejor para las próximas generaciones (OMS, 2014).

Antecedentes de Eficiencia energética

El transporte es una de las actividades con mayor demanda energética, pues consume más del 50% de la demanda mundial de petróleo dirigida a esta industria (Agency, 2012).

Por ello el crecimiento del sector automotriz ha sido muy notable, pues va ligado al fortalecimiento de la capacidad adquisitiva; sin embargo, pueden establecerse nuevas políticas públicas e impulsar iniciativas para proyectar escenarios en los que, a pesar del incremento de la industria automotora, las actividades relacionadas con el transporte no generen problemas en la movilidad o impacto ambiental al cual estamos dirigiéndonos de importancia. Hasta el 2010, el sector del transporte fue el consumidor de energía predominante en el Ecuador, utilizando un 50% de la demanda a nivel nacional. En vista de la enorme cantidad de energía invertida en este sector, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), con su equipo de investigadores, desarrolla el proyecto denominado “Línea base para investigación en eficiencia energética en el sector transporte” (INER, 2015).

La iniciativa del INER para mejorar la eficiencia energética en el sector del transporte, se centra en la creación y recopilación de una base de datos y su posterior análisis para desarrollar nuevas tecnologías que permitan hacer un uso eficiente del recurso energético que requieren

todos los tipos de transporte que existen: aéreo, marítimo, ferroviario y transporte de carretera o terrestre (INER, 2015).

Trabajos previos

La exergía se entiende como, “el máximo trabajo útil teórico obtenido cuando un sistema interactúa con un estado de equilibrio” (More, 2013) , sino también como una metodología de análisis que nos permite llegar a resultados que trascienden a los que se obtienen con un análisis energético, primero se debe diferenciar entre los conceptos de energía, entropía y exergía, que son definiciones claras al momento de dar a conocer cada una y previamente como se las aplica en sus diferentes campos.

Según Hoseinpour (2017), en este estudio, el efecto de la fumigación con gasolina sobre el equilibrio energético y exergético de un diésel DI motor alimentado con aceite de cocina usado biodiesel y Diesel mezcla (B20) se investiga experimentalmente y teóricamente estudiado. Para tener un análisis exhaustivo, el Diesel y B20 se consideraron como dos valores de referencia los combustibles y la fumigación con gasolina se indujeron en dos proporciones diferentes. Mediante los datos obtenidos revelan que la fumigación con gasolina aumenta la energía y la eficiencia de la energía a cargas medianas y altas a aproximadamente 5% para combustible de línea de base de Diesel, mientras que la eficiencia energética y de energía disminuye ligeramente en el caso de combustible B20 con fumigación de gasolina (Hoseinpour, 2017).

Determina Li (2018), las fuentes de destrucción de energía de diferentes regímenes de combustión de motores, que la reacción química es la mayor fuente de destrucción energética. Aunque la destrucción de energía debido a químicos, la reacción en los motores convencionales de combustión diésel (CDC) es la más baja, su destrucción total de energía es la más grande. La transición de la liberación de calor a baja temperatura (LTHR) a la liberación de calor a alta temperatura (HTHR) se acumula destrucción sustancial de la energía, por lo que la adopción de

combustibles de liberación de calor de una etapa sin LTHR es favorable para reducir la energía destrucción. En general, para diferentes regímenes de combustión, diferentes estrategias deberían ser adoptados en consecuencia para reducir la destrucción de la energía, y el control efectivo sobre la magnitud y la estratificación de la temperatura de combustión es importante para lograr una baja destrucción de energía, alta eficiencia de combustible, combustión moderada tasa, y bajas emisiones al mismo tiempo (Li,2018).

Aclaró Krishnamoorhi (2017), que en el estudio del efecto de la presión de inyección (IP) y tiempo de inyección (IT) sobre el rendimiento, la combustión y las emisiones de un encendido por compresión (CI) motor, y a la vez el análisis de exergía del motor diésel para maximizar la disponibilidad del trabajo. Las pruebas se realizaron en un diésel de inyección directa de velocidad constante motor alimentado con mezclas ternarias de aceite de bael, dietil éter (DEE) y diésel puro (D) en varios motores cargas.

Análisis de Emisiones

Cuando el motor fue operado con mezcla B2 (60 % Dp30 % aceite baelp10 % DEE), hubo un aumento en la eficiencia térmica del freno del 3,5 %, acompañado de una disminución de las emisiones de óxidos de nitrógeno en un 4,7 % a plena carga con 250 bar IP. La mezcla B2 mostró una menor emisión de hidrocarburos en un 7 % en comparación con ese de diésel limpio a plena carga del motor con TI de combustible 23 antes del punto muerto superior.

Según Carolino (2013), dice que un sistema de cogeneración para la valorización energética del biogás producido en un relleno sanitario se evalúa sobre la base de la Primera y Segunda Ley de la Termodinámica. La cogeneración es una tecnología que permite una mayor eficiencia energética, su potencial de ahorro de energía primaria y, por consiguiente, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. La utilización del biogás como combustible tiene un efecto beneficioso doble de producción de energía y de protección del medio ambiente. El proceso de conversión del biogás en energía eléctrica, realiza el análisis de la Primera y Segunda

Ley de la Termodinámica, identifica los lugares y las magnitudes de las irreversibilidades, así como evaluar el desempeño del proceso global y de sus unidades (Carolino, 2013).

Una investigación experimental de un motor diésel convencional, biogás y el hidrógeno como combustible se ha llevado a cabo para la mejora del desempeño del motor de combustible dual de biogás y las características de emisión, pequeños porcentajes de suplementos de hidrógeno, a saber. 5 %, 10 %, 15 % y 20 % en biogás se estudiaron y la comparación también se hizo a eso con dual de biogás-Diesel operación de combustible. La caracterización del rendimiento del motor se ha realizado con una base de exergía enfoque. Los resultados muestran que el hidrógeno las suplementaciones en el biogás tienen un efecto menor en las características de combustión a bajo carga, mientras que, a alta carga, los patrones de combustión cambian significativamente con mayor calor las tasas de liberación y las presiones máximas de combustión (Verma, 2017).

Análisis Exergético

Según Balli (2017), el análisis de exergía convencional y avanzado de un motor de turbohélice de avión, como resultado del estudio se determina que los valores de eficiencia de exergía del motor son 16.63 % en el caso real y 17.13 % en el caso no viable, respectivamente. Por ello se podría decir que el sistema tiene poca mejora potencial porque la tasa de destrucción de exergía inevitable es del 94 %. Las relaciones entre los componentes son débiles ya que el 86% de la destrucción exergética es endógena. Finalmente, puede concluirse que el compresor de aire, la cámara de combustión y los componentes de la turbina de potencia del motor deben enfocados de acuerdo a los resultados obtenidos (Balli, 2017).

Menciona también Sharifia (2017), una investigación exhaustiva del rendimiento exergético de un motor de gas equipado en la planta de digestión anaeróbica que produce energía eléctrica y biofertilizante a partir de fracción orgánica de municipales desechos sólidos (OFMSW), el valor energético de la potencia eléctrica neta se determinó en 1596,0 kW, mientras

que el químico el contenido exergético del biofertilizante fue de 8758.3 kW. La eficiencia exergética global de la planta era determinado en 72.8 %. Las contribuciones de la energía eléctrica y el biofertilizante a la eficiencia exergética general de la planta fueron 15.4 % y 84.6 %, respectivamente. En general, el análisis exergético presentado en este documento podría proporcionar directrices importantes y modelos metodológicos para futuras investigaciones con el fin de desarrollar plantas de conversión de residuos en energía termodinámicamente eficientes y ambientalmente benignas (Sharifia, 2017).

Análisis de Energía

Según Fu (2013), con el fin de evaluar la eficiencia de utilización de energía del motor de gasolina y predecir el potencial de recuperación para la energía de calor residual, la distribución de energía y las características de energía de calor residual de un aspirado natural motor de gasolina se han estudiado combinando los métodos de energía y análisis de energía. Por ello nos dice que al momento de bajar la velocidad y bajar la carga, la energía térmica residual principalmente se enfoca en el agua de enfriamiento, a alta velocidad y alta carga, la energía del gas de escape es más grande que el agua de refrigeración, es energía no solo en cantidad, sino también en porcentaje de energía y eficiencia energética, el escape más alto la eficiencia de la energía de gas aparece en el área de alta velocidad y alta carga, mientras que la energía de enfriamiento más alta la eficiencia aparece en el área de baja velocidad y baja carga, teóricamente, la eficiencia total del combustible de esta gasolina el motor puede ser casi mejorado por un tiempo a través de la recuperación de calor residual, y la máxima eficiencia de combustible total puede alcanzar el 60 % (Fu, 2013).

Jafarmadar (2013), nos aclara que diversos componentes de energía se identifican y calculan por separado con la posición del cigüeñal en ambas cargas de igual manera los resultados muestran que en operaciones de carga parcial y total el 56 % y el 77 % de la irreversibilidad total están relacionados con el proceso de combustión en la cámara principal,

respectivamente. Este trabajo demuestra que los multidimensionales modelados se pueden utilizar en geometría de cámara compleja para obtener más información sobre el efecto de campo de flujo en el proceso de combustión que representa la segunda ley de la termodinámica (Jafarmadar, 2013).

Un sistema híbrido combinado de enfriamiento, calefacción y potencia (CCHP) que consiste en combustible de carbonato fundido se presenta y analiza el enfriador de absorción de doble efecto (MCFC), por ello los análisis de este tema como por ejemplo el calor agotado del motor Stirling se utiliza como fuente de calor de la absorción generador de enfriador, la potencia producida del proceso es 6482 kW, también proporciona 2137 kW de calor deber y 1372 kW de trabajo en frío (Mehrpooya,2017).

Para el análisis exegético en este tema, se desarrolla un código computacional interno, que utiliza los resultados del análisis de energía a diferentes relaciones de combustible-aire. La presión del cilindro resulta para el gas natural motor de combustible diésel se verifican con los datos experimentales en la literatura, que muestra un buen acuerdo. Con la posición del cigüeñal en diferentes relaciones de gas combustible-aire, varias tasas y acumulativo los componentes de energía se identifican y calculan por separado. Se encuentra que como gas relación combustible-aire aumenta de 0.3 a 0.8, la eficiencia de energía disminuye de 43.7 % a 34.5 % (Jafarmadar S. , 2014).

Es necesario mejorar la eficiencia de los sistemas de energía debido a la falta de combustibles fósiles en un futuro próximo y su medio ambiente cuestiones. El calor residual de las actividades industriales puede recuperarse para mejorar la eficiencia del sistema de energía. Nos da a conocer de igual manera, que los ciclos orgánicos de Rankine (ORCS) son una opción apropiada para recuperar el calor de la fundición de metales hornos (Mirzaei,2018).

En este estudio, los análisis termodinámicos y económicos se llevan a cabo en un ORC que trabaja con los gases existentes un horno de fundición de metal mediante la aplicación de diferentes fluidos de trabajo (Mirzaei,2018).

Los sistemas de propulsión marina se basan principalmente en motores diésel de combustión interna. A pesar de este hecho, varios transportadores de GNL tienen plantas de propulsión de vapor. En tales plantas, se utilizan turbinas de vapor no solo para la propulsión de barcos, sino también para la generación de energía eléctrica y el accionamiento de la bomba de agua de alimentación principal. Las medidas de varios parámetros de operación se realizaron y los datos obtenidos se utilizaron para el análisis de energía y energía. Todas las medidas y los cálculos se realizaron durante la aceleración del barco. El análisis muestra que la energía y las eficiencias de energía de ambas turbinas analizadas de baja potencia varían entre 46 % y 62 % lo que es significativamente menor en comparación con las turbinas de vapor de alta potencia (Mrzljak, 2017).

Desde el punto de vista de la energía el análisis para mezclas consideradas de biodiesel, podría usarse como combustible alternativo sin cualquier penalización considerable al convertir la energía del combustible en energía térmica para producir trabajo. Además, el coeficiente de rendimiento energético mostró que B20 era el biodiesel óptimo mezcla para presentar el mejor rendimiento de combustión (Nemati, 2016).

Menciona Presciutti (2017), que la consecuencia del consumo de biodiesel y el crecimiento de la producción implica un excedente significativo de glicerol, que es una fuente de preocupación en el campo de la energía. El bajo valor de calentamiento de glicerol y su la combustión ineficaz, con el posible riesgo de producir acroleína tóxica, reduce el interés de usarla como un combustible. El presente estudio informa el análisis energético y de energía de una innovadora planta de oxcombustión alimentado por glicerol.

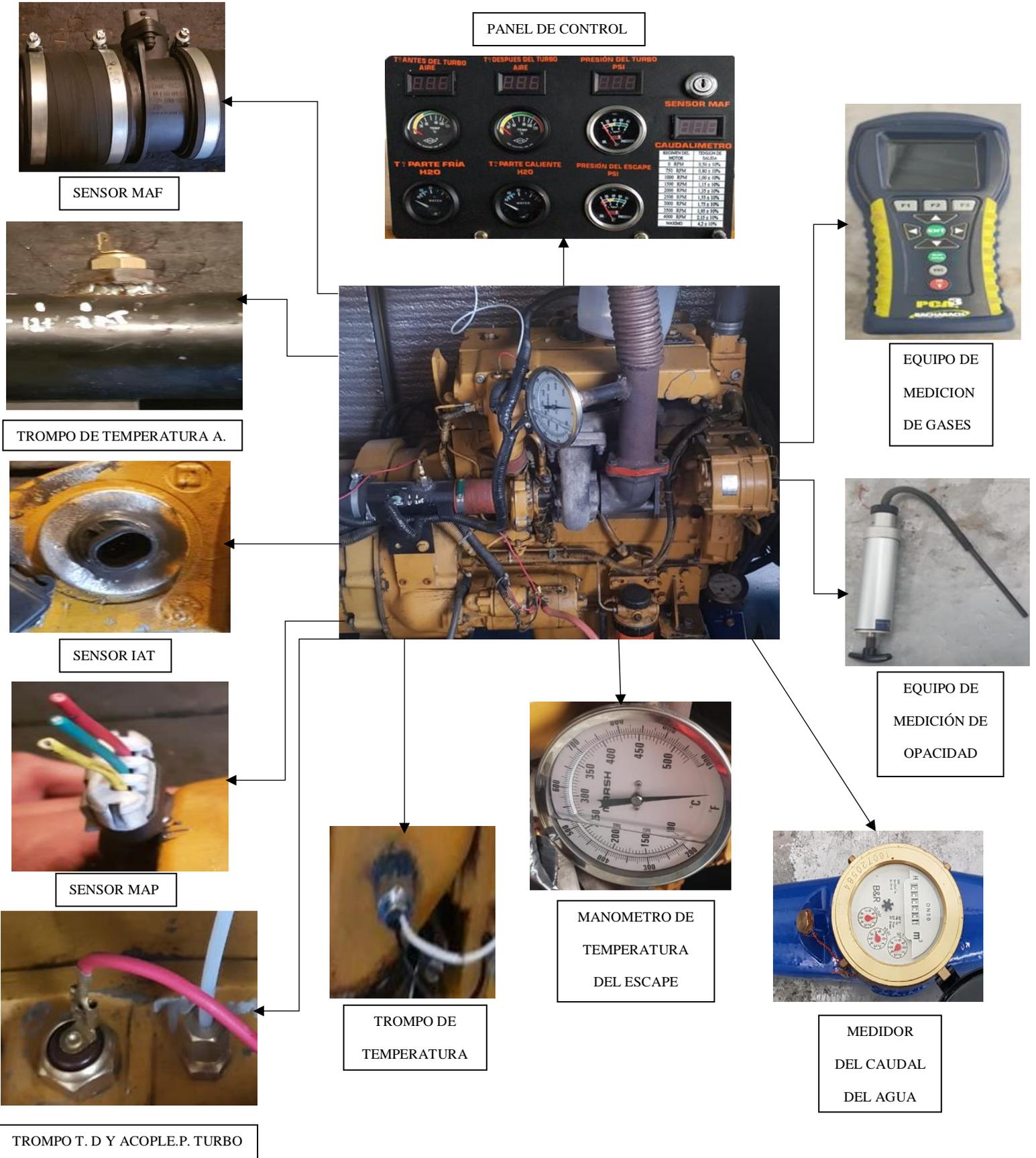
(M. Razmara, 2016), la energía o disponibilidad se define como el trabajo útil máximo durante un proceso, esta métrica ha sido utilizada para analizar y comprender los mecanismos de pérdida de los motores de combustión interna (ICE). En este documento, se introduce un método óptimo de control basado en energía para la operación transitoria y en estado estable de los ICE. Primero, se desarrolla un modelo de energía para un motor de cilindro único.

El modelo de exergía ICE se basa en Segunda Ley de Termodinámica y caracteriza irreversibilidades. Tales cuantificaciones no son identificadas en el análisis de la Primera Ley de Termodinámica. Para el funcionamiento estable del ICE, se usa un conjunto de 175 diferentes condiciones de operación para construir los mapas de eficiencia de SLT (M. Razmara, 2016).

Bagaded (2016), presenta el análisis termodinámico del sistema de trigeneración con motor diésel teniendo en cuenta el motor real datos de sistemas de motor de 200 kVA. A través de un análisis de energía y de exergía de un sistema de trigeneración en modo refrigeración, recomienda el uso de un sistema de trigeneración con dos enfriadores en un sistema de trigeneración con enfriador único.

Método

Flujogramas de motor Caterpillar 3054



En esta investigación se utilizó el estudio cuantitativo y explicativo, y a su vez los métodos científicos empleados los cuales son empíricos, teóricos y matemáticos estadísticos.

La investigación o metodología cuantitativa es el procedimiento de decisión que pretende señalar, entre ciertas alternativas, usando magnitudes numéricas que pueden ser tratadas mediante herramientas del campo de la estadística. Por eso la investigación cuantitativa se produce por la causa y efecto de las cosas. En el estudio se realiza la interpretación de dato cuantitativos obtenidos a partir de la experimentación de combustibles alternativos.

La investigación explicativa constituye la fuente de la construcción de teorías. Su ejecución es compleja y requiere de múltiples destrezas por parte del investigador, por lo cual se precisa de un detallado estudio para comprenderla y llevarla a cabo. En el estudio permite valorar el comportamiento de las variables que fueron objetos de investigación comparándolas con estudios realizados por otros autores.

El método empírico es un modelo de investigación científica, que se basa en la experimentación y la lógica empírica, que junto a la observación de fenómenos y su análisis estadístico. En el estudio se realizan mediciones de variables a través de la instrumentación instalada en el motor Caterpillar 3054, se aplica la observación como método para la evaluación del desarrollo del experimento, se aplica el método de experimentación a partir del diseño de experimento factorial. El método estadístico matemático es una rama de las matemáticas y una herramienta que estudia usos y análisis provenientes de una muestra representativa de datos, que busca explicar las correlaciones y dependencias de un fenómeno físico o natural, de ocurrencia en forma aleatoria o condicional. El mismo se aplica para la evaluación de la variable dependiente mediante una comparación de media.

Metodología para la medición de datos en un Motor Caterpillar 3054.

Mediante el siguiente capítulo se describirá los datos obtenidos en las pruebas. Su principal componente es el motor de combustión interna. Además, los sistemas de medición tienen parámetros importantes, que son los siguientes:

- Sensores MAP (Bosch Terracean)
- Sensores MAF (Bosch Terracean)
- Sensores IAT (Bosch Corsa)
- Manómetros de presión (Vac de 0 a 80 psi)
- Manómetros de temperatura (Vac 40 a 120 °C)
- Medidor de flujo de agua (Dorot de 2")

El Motor fue instrumento de estudio en este proyecto el cual se encuentra actualmente en la Universidad SEK. El componente principal es el motor a diésel Caterpillar, en el cual está instalado un panel de control electrónico, manómetros y un marco para controlar el consumo de combustible en dichos componentes.



Figura 1. Esquema Básico del Generador Estudiado

Como se muestra en la Figura 1, el motor posee un cuadro eléctrico, en el cual se instaló los aparatos para medir la temperatura del turbo antes y después, presión del turbo, temperatura del agua fría y caliente, presión del escape, flujo de aire, caudal del de agua y caudal de combustible.

Procedimiento de medidas de los parámetros necesarios

Se realizó el análisis del Motor Caterpillar 3054 a Diesel, propuesto en el proyecto, para ello son necesarios los siguientes datos:

Sistema de Aire

- Flujo de combustible entrando en el motor
- Flujo de gases de escape saliendo del motor

Sistema de Escape

- Flujo de aire entrando en el motor

Sistema Refrigerante

- Temperatura del agua entrando al radiador
- Temperatura del agua saliendo del radiador

Sistema de Caudal del Radiador

- Caudalímetro por el radiador

Manómetros de presión

- Temperatura de salida de los gases
- Temperatura ambiente

Las medidas para la obtención de los parámetros se realizaron de la siguiente manera:

1. Las medidas de temperatura se realizaron a través de manómetros los cuales se reflejaron en voltímetros digitales.

2. El caudal de aire en la admisión del motor se midió mediante el Sensor MAF el cual se reflejó en un manómetro y a un voltímetro digital.
3. El flujo de combustible arrojó resultados, mediante un medidor manual durante el tiempo determinado el cual se le asignó a cada una de las pruebas.
4. La temperatura de los gases de escape se midió con un manómetro de temperatura.
5. El caudal de agua circulante en el radiador se midió por un medidor de agua de 2 pulg, adaptado.
6. La presión se midió con manómetros y de igual manera con voltímetro digital.

Panel Motor Caterpillar 3054 (resultados obtenidos)

El panel se instaló de la siguiente manera: el positivo de 12 V mediante el positivo del arranque del motor donde con un cable que se va a repartir a cada uno de los manómetros y voltímetros, todos los manómetros actúan con 12 V, de igual manera el negativo que va a repartir a todo el tablero se lo adaptó del mismo motor. Posteriormente para poder alimentar a cada uno de los sensores que trabajan a 5 V, y de igual manera con un negativo, para que pase 5 V instalado, un regulador 718 el cual le de funcionamiento a la tarjeta que regula la entrada de voltaje ya sea de 24 V o de 12 V y regula a los 5 V. En la Figura 2, observar el panel donde van a llegar cada uno datos obtenidos del motor Caterpillar 3054.



Figura 2. Panel de Daros Obtenidos del Motor Caterpillar 3054

Medición de caudal de combustible

El motor y el recipiente donde se encuentra el combustible, ya sea diésel o biodiésel están conectados mediante mangueras directas las cuales son de abastecimiento y retorno, donde se podrá medir el consumo durante las pruebas en el tiempo requerido. En la Figura 3, se observa que el combustible llega hasta los 4 litros, cada una de las pruebas que se realizaron, tienen esta medida tanto para diésel como para el biodiesel B10 y B20.



Figura 3. Medidor del Flujo de Combustible

Medición de Caudal de Biodiésel

Para la realización de dichas pruebas se observa que las mezclas adecuadas son las siguientes para B10 (Biodiesel 10 % - Diesel 90 %), B20 (Biodiesel 20 % - diésel 80 %).

Mediante la figura 4, se da a conocer los elementos de medición de volumen para las respectivas mezclas de los combustibles, se realizó este procedimiento en probetas con las medidas de 500 y 100 ml, proporcionadas por el laboratorio de termodinámica de la universidad SEK.



Figura 4. Medidor del Flujo de Combustible

Sistema de Aire

Medición del Flujo de aire

Para obtener esta señal se adaptó al generador Caterpillar un sensor MAF donde el sensor conocido como sensor de flujo de aire, se ubica antes del colector de admisión del motor y después del filtro de aire. Su función es muy importante, este elemento es el encargado de medir la cantidad de aire que el motor está aspirando. En la figura 5, se observa el sensor MAF que es electrónico, se alimenta en el rango 4.8 a 5.2 voltios en el motor instalado, donde se refleja la señal en los manómetros y voltímetros ya especificados.



Figura 5. Sensor MAF

Sistema Refrigerante

Caudal de agua

La herramienta adecuada que utilizó para medir el caudal de agua que circula a través del motor y el radiador es un medidor de agua chorro múltiple de 2pug. Como se muestra en la Figura 6. Se instaló este equipo por las medidas correspondientes que tiene el motor Caterpillar y la cual tiene una medición exacta, el MT-KD es un medidor de velocidad, que al pasar el agua por la cámara de medición hace girar una turbina, este movimiento se transmite magnéticamente al registro que convierte este movimiento en la cantidad de agua que pasa por el medidor.



Figura 6. Medidor de Agua Corro Múltiple de 2pug.

Medición de Temperatura Aire

Para controlar las temperaturas se instaló en el Generador Caterpillar dos sensores IAT la cual funcionan a 5 V, tiene una resistencia entre más se caliente la resistencia manda la señal a los voltímetros, los sensores están conectados antes y después del turbo, es decir, se va a medir la temperatura que ingresa, en este caso fría y la temperatura que sale siendo la caliente. Como se muestra en la figura 7, la cual ayuda a obtener los datos de precisión, en este caso ayudó para la obtención de cálculos específicos.



Figura 7. Sensor IAT Instalado en el Motor Caterpillar.

Medidor de Temperatura de Agua

Para los datos de temperatura del agua, lo que se instaló en el generador Caterpillar fueron dos trompos los cuales mandan la señal de temperatura a los manómetros instalados los cual el rango de 0 °C a 40 °C, los trompos están instalados antes y después del radiador para poder obtener dichas temperaturas, que se observan en la figura 8.



Figura 8. Trompos de Temperatura de Agua.

Medidor de Temperatura de Escape

En este caso para obtención de la temperatura de escape del generador Caterpillar, lo que se hizo es instalar un manómetro de temperatura de marca marsh de 100 a 500 °C, como se observa en la Figura 9, que se utiliza en la industria mecánica, se puede soportar altas temperaturas como en este caso el escape del motor.

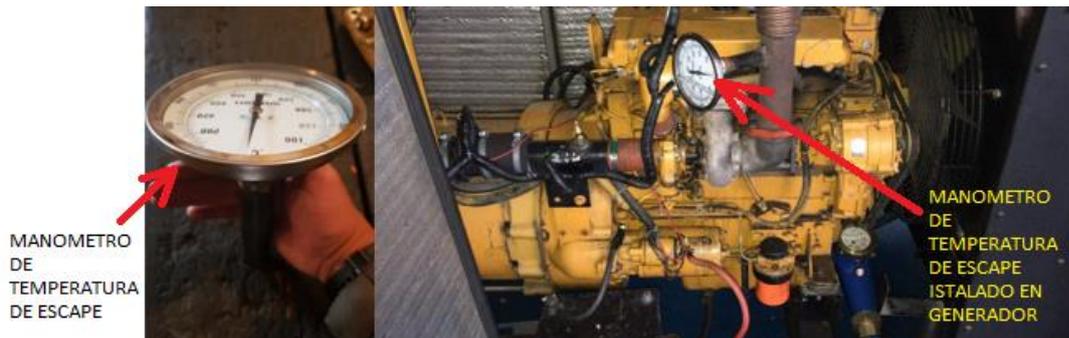


Figura 9. Manómetro de Temperatura de Escape.

Metodología para la Evaluación de Emisiones en un Motor Caterpillar 3052.

El control de la contaminación atmosférica se basa, mayormente, en la eliminación o limitación de las emanaciones de contaminantes desde fuentes puntuales y fuentes dispersas. Para lograr ese control deben adoptarse e implantarse normas o límites de emisiones, que resulta ser el control más adecuado. Las normas de emisiones especifican la cantidad máxima de contaminantes que puede emitir una fuente puntual dada.

Para poder desarrollar las pruebas se utilizó:

- Máquina de medidor de emisiones (PCA3-BACHARACH)
- Máquina de medidor de opacidad (PCA3-BACHARACH)



Figura 10. Medidor de Emisiones.



Figura 11. Medidor de Opacidad

Procedimiento de Pruebas

En las pruebas es necesario seguir un itinerario con los pasos para que el problema se realice de forma segura y correcta.

- Aceleración del motor hasta rotación nominal (1266 rpm)
- Aplicación de carga y espera para estabilización
- Medición de Voltajes
- Medición de temperaturas ambiente, escape, salida-entrada.

Para el arranque del motor se debe verificar el nivel del aceite lubricante y el nivel de aceite agua del radiador. Antes de iniciar las pruebas es necesario conectar la llave general. Después de este chequeo verificar que todos los combustibles de las pruebas que van hacer realizadas que en este caso serán Diesel, biodiesel B10, B20, estén bien medidas para hacer las pruebas.

A continuación, se debe apretar el botón de arranque para poder prender el generador. Un minuto de prueba "girar" las llaves del panel para poder observar detenidamente cada uno de los manómetros y voltímetros de cada función.

Dejando funcionar el motor por 3 minutos donde alcanza a su mayor revolución q es sus (1266rpm). Después de esta etapa, acelerar hasta alcanzar la rotación de trabajo.

Posteriormente iniciar las pruebas que será primero del Diesel, que durará 15min, durante este tiempo recopilar cada 5 minutos todos los daros reflejados en el panel, manómetros y voltímetros, esto hasta completar los 15 minutos.

Ya recopilando todos los datos de cada uno de las pruebas, continuar con el procedimiento que es los cálculos de los combustibles.

Modelos utilizados en los análisis Energéticos y Exergéticos

Mediante el siguiente capítulo, se presentan todos los modelos, con sus ecuaciones y consideraciones, utilizados en los balances Energéticos y Energéticos presentes en dicho proyecto.

Primer Modelo Termodinámico (Modelo Base)

El primero de los tres modelos termodinámicos empleados en el proyecto, es que tiene un mayor número de hipótesis simplificadoras.

Balance Energético de la Central Diesel

Como se vio anteriormente, el balance energético es ampliamente utilizado para obtener resultados sobre distribución del poder que el combustible tiene a lo largo del tiempo en el proceso de conversión de energía.

El primer paso para realizar el balance de energía es la determinación de los caudales del agua utilizados en el radiador, el caudal de los gases de escape y por último, pero no menos importante, el caudal de combustible. Para calcular dichos caudales es necesario utilizar la tabla de datos recopilados y medidos para el ensayo del motor. En esta tabla están muchos parámetros que no se utilizarán directamente en el cálculo de los caudales, pero que se utilizarán posteriormente en dicho trabajo. Para iniciar el balance energético, es necesario el cálculo del caudal de combustible.

Para ello se utilizan los valores de volumen de combustible (V_c) y del tiempo transcurrido (t) para que se consumiera. Para el cálculo es utilizada la Fórmula 1 (Terrezani,2015).

$$\dot{m}_c = \rho_c \frac{V_c}{\Delta t} \quad [1]$$

Donde:

\dot{m}_c = Caudal de masa del combustible [kg / s]

ρ_c = Masa específica del combustible = 833 [kg / m³] / 882 [kg / m³]

V_c = Volumen de combustible [m³]

Δt = Variación del tiempo [S]

Para calcular el flujo de aire que entra al motor, según (Calle, 2014) la relación ideal entre aire y combustible para que la combustión se realice del modo más eficiente posible se

denomina mezcla estequiométrica. Esta relación de proporciones se mide en gramos, siendo diferente dependiendo del tipo de combustible al que refiramos.

La mezcla estequiométrica de la combustión de la gasolina es de 14,7 partes de aire (en masa) por cada parte de gasolina (en masa). Es decir, para quemar completamente un gramo de gasolina se necesitan 14,7 gramos de aire. En los motores Diésel la mezcla estequiométrica es de 14,5:1 (Calle, 2014).

Teniendo en cuenta lo explicado calculamos el caudal del aire con la siguiente fórmula 2 (Calle, 2014):

$$\dot{m}_{aire} = \dot{m}_c * 14.5 \quad [2]$$

Calculando el caudal de aire (\dot{m}_c) y el caudal de combustible (\dot{m}_{aire}), es posible finalmente calcular el caudal de los gases de escape ($\dot{m}_{gas\ escape}$), como se muestra en la fórmula 3 (Terrezani, 2015).

$$\dot{m}_{gas\ escape} = (\dot{m}_c) + (\dot{m}_{aire}) \quad [3]$$

Donde:

$$\dot{m}_{gas\ escape} = \text{Caudal del Gas de Escape [kg / s]}$$

$$\dot{m}_c = \text{Caudal de masa del Combustible [kg / s]}$$

$$\dot{m}_{aire} = \text{Caudal de masa del Aire [kg / s]}$$

La primera parte del balance energético que se calcula es el calor liberado por combustible (Q_c). Es una de las más importantes, teniendo en cuenta que es el poder calorífico del combustible que indica cuánto de calor máximo se generará de su combustión por ello se utiliza la fórmula 4 según (Terrezani,2015).

$$Q_c = (\dot{m}_c)PCI \quad [4]$$

Donde:

Q'_c = Calor Liberado Del Combustible [kW]

m'_c = Caudal de masa del Combustible [kg / s]

PCI = Poder Calórico Inferior [kJ / kg]

Para obtener el poder calorífico interno Diésel tenemos la siguiente tabla de (lima, 2015):

Tabla 1
Poder calorífico inferior de los combustibles.

PODER CALORIFICO INFERIOR		
Combustible	Densidad [g/ml]	PCI [MJ/kg]
Gasolina	0.73	42.5
Diesel	0.85	43
Biodiesel	0.88	37.2
HFO 380	0.96	-
Oleo cru	0.86	-

Otros dos cálculos importantes del balance energético del motor, que son: el calor perdido en el radiador y el calor perdido por los gases de escape. Para el calor perdido en el radiador se utiliza la fórmula 5 según (Terrezani, 2015).

$$Q'_a = m'_a C_a (T_s - T_e) \tag{5}$$

Donde:

Q'_a = Calor perdido del Radiador [kW]

m'_a = Caudal de agua en el Radiador [kg / s]

C_a = Calor Especifico del Agua [kJ / kg°C]

T_s = Temperatura de Salida del Agua [°C]

T_e = Temperatura de Entrada del Agua [°C]

Tabla 2
Los Calores específicos.

	CALOR ESPECÍFICOS		
	[kcal/kg °C]	[kJ/kg °C]	[W/kg °C]
Agua	1	4.18	1.16
Aire	0.24	1	0.28
Vapor De Agua	0.42	1.76	0.49
Hielo	0.5	2.09	0.58

Acero	0.12	0.5	0.14
Hormigón	0.26	1.09	0.3
Lana De Vidrio	0.2	0.84	0.23

Donde vamos a sacar el flujo Volumétrico como esta en la fórmula 6 claro (Terrezani, 2015):

$$Q = \frac{V}{t} \quad [6]$$

Ahora ya teniendo el flujo volumétrico calcular el caudal del agua del radiador con la fórmula 7 según (Terrezani, 2015).

$$\dot{m}_a = Q \cdot \rho_{agua} \quad [7]$$

Teniendo ya todos los valores por último calcular el calor perdido en el radiador con la siguiente fórmula 8 según (Terrezani, 2015):

$$\dot{Q}_a = \dot{m}_a C_a (T_s - T_e) \quad [8]$$

Y el calor perdido por los gases de escape es dado por la fórmula 9 según (Terrezani, 2015):

$$\dot{Q}_g = \dot{m}_g C_p (T_{esc} - T_{ambi}) \quad [9]$$

Donde:

\dot{Q}_g = Calor perdido de los Gases de Escape [kW]

\dot{m}_g = Caudal de Gases de Escape, [kg/s]

C_p = Calor Especifico del Gas [kJ / kg°C]

T_{esc} = Temperatura de Escape [°C]

T_{ambi} = Temperatura de Ambiente [°C]

Para cuantificar las otras pérdidas de energía del motor Diésel se utiliza la siguiente fórmula 10 (Terrezani, 2015):

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_c - \dot{Q}_g - \dot{Q}_a \quad [10]$$

Donde:

\dot{Q}_p = Pérdidas de Energía del Motor Diesel [kW]

Q'_c = Calor liberado por el combustible [kW]

Q'_g = Calor Liberado de los Gases De Escape [kW]

Q'_a = Calor Liberado del radiador [kW]

Y para tener el cálculo general, calcular el rendimiento energético como se muestra en la fórmula 11 según (Terrezani, 2015):

$$n_{energia} = \frac{Q_P}{Q_c} \quad [11]$$

Donde:

$n_{energia}$ = Rendimiento Energético [kW]

Q_P = Perdida de Energía Del Motor [kW]

Q_c = Calor Específico del Combustible [kW]

Balance Exegético

Para realizar el Balance Exergéticos es necesario partir de la cantidad de energía asociada a la combustión. Para realizar el cálculo se debe tener en conocimiento del PCI de los combustibles utilizados en las pruebas. Como se muestra en la fórmula 12 aclaro (Terrezani, 2015):

$$E'x_c = m'_c \text{ PCI } \beta \quad [12]$$

Para obtener β según (Terrezani, 2015), tenemos la siguiente fórmula 13 como se muestra, y sus características químicas la obtenemos de (Jiménez, 2016), a su vez las del biodiesel (Ricardo, 2017) .

$$\beta = 1.0401 + 0.1728 \frac{X_H}{X_C} + 0.0432 \frac{X_O}{X_C} + 0.2169 \frac{X_S}{X_C} (1 - 2.6828 \frac{X_H}{X_C}) \quad [13]$$

Donde:

$E'x'_c$ = Exergía Asociada al Calor del Combustible [kW]

m'_c = Caudal de Combustible [kg / s]

PCI = Poder Calorífico Inferior [kJ / kg]

B = Factor para Calcular la Exergía del Combustible.

Hay una entrada de agua para enfriamiento del motor. Esta agua se utiliza en radiador, y cómo entra en el motor un poco por encima de las condiciones ambientales, el flujo de exergía entrando en el sistema. Y el agua que sale del motor carga también una parte de la exergía. La cual se utiliza la siguiente fórmula 14 según (Terrezani, 2015), para el cálculo, siempre con respecto a las condiciones ambientales:

$$E \dot{x}_a = \dot{m}_a [h - h_0 - T_0(S - S_0)] \quad [14]$$

Donde:

$E \dot{x}_a$ = Exergía Asociada al Flujo de Agua kW

\dot{m}_a = Caudal de Agua en el Radiador kg / s

h = Entalpia final (tabla) [kJ / kg K]

h_0 =Entalpia Inicial (tabla) [kJ / kg K]

T_0 = Temperatura de Referencia ambiente [K]

S = Entropía Final (tabla) [kJ / kg K]

S_0 = Entropía Inicial (tabla) [kJ / kg K]

Otra parte muy importante del balance Exergéticos es el flujo de gases de escape del motor. En ese primer modelo el calor específico utilizado la fórmula 15 según (Terrezani, 2015), sobre la base de una media de los valores de los calores específicos, en las respectivas temperaturas de entrada y salida, de funcionamiento del motor.

$$E \dot{x}_g = \dot{m}_g \cdot \{C_p T_0 \left[\left(\frac{T}{T_0} - 1 \right) - \ln \left(\frac{T}{T_0} \right) \right] \} \quad [15]$$

Donde:

$E \dot{x}_g$ = Exergía Asociada al Flujo de Gas [kW]

\dot{m}_g .= Caudal de Gas [kg / s]

C_p = Calor Específico a Presión Constante [kJ / kgK]

T_0 = Temperatura de Referencia [K]

T = Temperatura escape [K]

Hacemos la sumatoria como se muestra en la fórmula 16 según (Terrezani, 2015):

$$E \cdot \dot{x}_{\text{útil}} + E \cdot \dot{x}_{ae} + E \cdot \dot{x}_c = E \cdot \dot{x}_{as} + E \cdot \dot{x}_g \quad [16]$$

Donde:

$E \cdot \dot{x}_{ae}$ = Energía Entra en el Motor [kW]

$E \cdot \dot{x}_{\text{útil}}$ = Exergía Asociada al Calor del Combustible [kW]

$E \cdot \dot{x}_a$ = Exergía Asociada al Flujo de Agua [kW]

$E \cdot \dot{x}_g$ = Exergía Asociada al Flujo de Gas [kW]

Y para tener el cálculo general, calcular el rendimiento Exergéticos con la siguiente fórmula 17 según (Terrezani, 2015):

$$n_{\text{exergetico}} = \frac{(E \cdot \dot{x}_c + E \cdot \dot{x}_{\text{agua}}) - (E \cdot \dot{x}_{\text{agua}} + E \cdot \dot{x}_{\text{escape}})}{E \cdot \dot{x}_c + E \cdot \dot{x}_{\text{agua}}} \quad [17]$$

Calor Específico la Presión Constante

Para este cálculo de presión constante tenemos la fórmula 18 como se muestra, según (M. Krishnamoorthi*, 2017).

$$C_{par,T} = C_0 + C_1T + C_2T^2 + C_3T^3 + C_4T^4 \quad [18]$$

Para temperatura entre 200 a 800K.

Donde:

Datos de Reemplazo para las Cálculos	
1	$C_0 = +1,0189134 \text{ E}+03$
2	$C_1 = -1,3783636 \text{ E}-01$
3	$C_2 = +1,9843397 \text{ E}-04$
4	$C_3 = +4,2399242 \text{ E}-07$
5	$C_4 = -3.7632489 \text{ E}-10$

El calor específico a la presión constante de los productos de la combustión en forma polinomial se basará en con las fórmulas 19, 20 según (M. Krishnamoorthi*, 2017):

$$c_{p,g,T} = c_{par,T} + \frac{f}{1+f} \theta_{Cp,T} \tag{19}$$

$$f = \frac{\dot{m}_{comb}}{\dot{m}_{ar}}$$

Donde:

$$\theta_{Cp,T} = CP_0 + CP_1 T + CP_2 T^2 + CP_3 T^3 + CP_4 T^4 + CP_5 T^5 \tag{20}$$

Para temperatura entre 200 a 800K

Datos de Reemplazo para las Cálculos	
1	CP ₀ = -3,5949415 E+02
2	CP ₁ = +4,5163996 E+00
3	CP ₂ = +2,8116360 E-03
4	CP ₃ = +-2,1708731 E-07
5	CP ₄ = -3.7632489 E-10
6	CP ₅ = -1,222636 E -11

Análisis estadístico

Para evaluar si hay diferencias significativas entre los resultados de las variables de rendimiento energético, exegético y emisiones de gases; se desarrolló un diseño de experimento en el cual se toma dos factores el motor Caterpillar 3054 y el combustible. El combustible tiene tres niveles: diésel, biodiesel B10 y biodiesel B20, con estos parámetros se realizaron combinaciones de tratamiento, en el que se observó el comportamiento del motor con cada uno

de estos combustibles. El análisis estadístico se ejecutó en el software de STATGRAPHICS XVI versión 16.1.18(32-bits).

Resultados

Con el fin de lograr los objetivos propuestos (planteados), al inicio de este proyecto se basó la información obtenida mediante la identificación de pruebas de ensayos, y recopilación teórica y práctica para su análisis e interpretación. Además, se realizaron tablas interpretaciones para una mejor comprensión de los resultados.

Se presentan los resultados en orden, partiendo de los ensayos prácticos y teóricos con las que se demostraran cada prueba realizada: y posterior mente se presentan los resultados relacionados con el conocimiento e interés que como fin tiene este proyecto.

Se identifican las fallas perdidas de energía y exergía en las que, en el punto de vista de ingeniera y aplicación, el estudio está basado sobre una muestra de:

- Las pruebas tiempo vs componente principal Diésel (Diésel vehicular utilizado bajo las normas regidas en el distrito metropolitano de Quito que es el Euro 3)
- Las pruebas tiempo vs componente principal biodiesel B10 (Biodiesel B10 que es el porcentaje 90% de Diésel y un 10% de biodiesel).
- Las pruebas tiempo vs componente principal biodiesel B20 (Biodiesel B20 que es el porcentaje 80% de Diésel y un 20% de biodiesel).

A continuación, se presenta el análisis de los resultados obtenidos, siguiendo el orden establecido previamente propuesto y desarrollado.

Resultados finales de diésel

Mediante las tablas 3, 4, 5, 6 y 7 se da a conocer los resultados finales de cada uno de los valores obtenidos en las pruebas de diésel al 100 %, para poder determinar los cálculos de energía y exergía del motor Caterpillar.

Tabla 3

Datos finales de las pruebas de temperatura de aire del turbo diésel al 100%.

TEMPERATURA DE AIRE EN EL TURBO			
Combustible	N.º de Pruebas	Antes [V]	Después [V]
Diésel	Prueba 1	4.76	4.72
Diésel	Prueba 2	4.76	4.72
Diésel	Prueba 3	4.76	4.73
	Promedio	4.76	4.73

Tabla 4

Datos finales de las pruebas de presión del turbo diésel al 100%.

PRESIÓN DEL TURBO		
Combustible	N.º de Pruebas	Valor [V]
Diésel	Prueba 1	1.41
Diésel	Prueba 2	1.41
Diésel	Prueba 3	1.42
	Promedio	1.413

Tabla 5

Datos finales de las pruebas de temperatura de agua en el radiador de diésel al 100%.

TEMPERATURA DE AGUA DEL RADIADOR			
Combustible	N.º de Pruebas	Temperatura Fría [°C]	Temperatura Caliente [°C]
Diésel	Prueba 1	55	65
Diésel	Prueba 2	69	79
Diésel	Prueba 3	71	81
	Promedio	65	75

Tabla 6

Dato final de la prueba de temperatura de escape de diésel al 100%.

TEMPERATURA DE ESCAPE		
Combustible	N.º de Pruebas	Valores [°C]
Diésel	Prueba 1	125
Diésel	Prueba 2	125
Diésel	Prueba 3	125
	Promedio	125

Tabla 7
Dato final del MAF diésel al 100%.

SENSOR MAF		
Combustible	N.º de Pruebas	Valores [V]
Diésel	Prueba 1	2.51
Diésel	Prueba 2	2.51
Diésel	Prueba 3	2.52
	Promedio	2.51

Resultados finales del biodiésel B10

Mediante las tablas 8, 9, 10, 11 y 12 se da a conocer los resultados finales de cada uno de los valores obtenidos en las pruebas de diésel al 90 % y biodiésel 10%, para poder determinar todos los cálculos de energía y exergía en el motor Caterpillar.

Tabla 8
Datos finales de las pruebas de temperatura de aire en el turbo de diésel al 90% y biodiésel 10%

TEMPERATURA DE AIRE EN EL TIURBO			
Combustible	N.º de Pruebas	Antes del turbo [V]	Después del turbo [V]
B10	Prueba 1	4.71	4.68
B10	Prueba 2	4.72	4.69
B10	Prueba 3	4.73	4.69
	Promedio	4.72	4.686

Tabla 9
Dato final de las pruebas de presión del turbo de diésel 90% y biodiésel 10%.

PRESIÓN DEL TURBO		
Combustible	N.º de Pruebas	Valores [V]
B10	Prueba 1	1.42
B10	Prueba 2	1.42
B10	Prueba 3	1.43
	Promedio	1.423

Tabla 10

Datos finales de las pruebas de la temperatura de agua en el radiador de diésel 90% y biodiésel 10%.

TEMPERATURA DE AGUA DEL RADIADOR			
Combustible	N.º de Pruebas	Temperatura Fría [°C]	Temperatura Caliente [°C]
B10	Prueba 1	65.5	70
B10	Prueba 2	75.5	80
B10	Prueba 3	80	80.5
	Promedio	73.6	76.8

Tabla 11

Dato final de la prueba de temperatura de escape de diésel 90% y biodiésel 10%.

TEMPERATURA DE ESCAPE		
Combustible	N.º de Pruebas	Valores [°C]
B10	Prueba 1	130
B10	Prueba 2	130
B10	Prueba 3	130
	Promedio	130

Tabla 12

Dato final de la prueba del MAF diésel 90% y biodiésel 10%.

SENSOR MAF		
Combustible	N.º de Pruebas	Valores [V]
B10	Prueba 1	2.62
B10	Prueba 2	2.62
B10	Prueba 3	2.63
	Promedio	2.623

Resultados finales del biodiésel B20

A través de las tablas 13, 14, 15, 16 y 17 se da a conocer los resultados finales de cada uno de los valores obtenidos en las pruebas de diésel al 80 % y biodiesel 20%, para obtener los resultados finales de los cálculos de energía y exergía del motor Caterpillar.

Tabla 13

Datos finales de las pruebas de temperatura de aire en el turbo diésel 80% y biodiésel 20%.

TEMPERATURA DE AIRE EN EL TIURBO			
Combustible	N.º de Pruebas	Antes del turbo [V]	Después del turbo [V]
B20	Prueba 1	4.68	4.64
B20	Prueba 2	4.69	4.64
B20	Prueba 3	4.69	4.64
	Promedio	4.686	4.64

Tabla 14

Dato final de la prueba de presión del turbo diésel 80% y biodiésel l 20%.

PRESIÓN DEL TURBO		
Combustible	N.º de Pruebas	Valores [V]
B20	Prueba 1	1.42
B20	Prueba 2	1.44
B20	Prueba 3	1.44
	Promedio	1.433

Tabla 15

Datos finales de las pruebas de temperatura de agua del radiador diésel 80% y biodiésel 20%.

TEMPERATURA DE AGUA DEL RADIADOR			
Combustible	N.º de Pruebas	Temperatura Fría [°C]	Temperatura Caliente [°C]
B20	Prueba 1	61	71
B20	Prueba 2	70	80
B20	Prueba 3	80	90
	Promedio	70.3	80.3

Tabla 16

Dato final de la prueba de temperatura de escape diésel 80% y biodiésel 20%.

SENSOR MAF		
Combustible	N.º de Pruebas	Valores [V]
B20	Prueba 1	2.71
B20	Prueba 2	2.72
B20	Prueba 3	2.72
	Promedio	2.716

Tabla 17

Datos finales de las pruebas de temperatura de escape diésel 80% y biodiésel 20%.

TEMPERATURA DE ESCAPE		
Combustible	N.º de Pruebas	Temperatura de Escape [°C]
B20	Prueba 1	132 °C
B20	Prueba 2	132 °C
B20	Prueba 3	132 °C
	Promedio	13 °C

Calculo final del rendimiento energético

Mediante la tabla 18, se da a conocer el cálculo final con la fórmula 11, del rendimiento energético del motor Caterpillar 3054 con las pruebas de diésel, biodiesel B10 y biodiésel B20.

Tabla 18

Cálculo final del rendimiento energético diésel, biodiesel B10 y biodiésel B20.

RENDIMIENTO ENERGÉTICO	
Combustibles	Resultados [%]
Diesel	0.609
B10	0.531
B20	0.527

Calculo final del rendimiento exergético

Se da a conocer en la tabla 19, se da a conocer el cálculo final con la fórmula 17, del rendimiento exergético del motor Caterpillar 3054 con las pruebas de diésel, biodiesel B10 y biodiesel B20.

Tabla 19

Cálculo final del rendimiento exergético diésel, biodiesel B10 y biodiesel B20.

RENDIMIENTO EXERGÉTICO	
Combustibles	Resultados [%]
Diesel	0.156
B10	0.381
B20	0.471

Emisiones

Resultado final de emisiones del diésel

Se termina los datos de emisiones de gases para el diésel al 100 % durante las pruebas que se realizó con el equipo adecuado que se muestra en la figura 10, el tiempo de cada prueba es de 15 minutos, como resultado final observar en la tabla 20.

Tabla 20
Cálculo final de las emisiones de gases diésel al 100%.

EMISIONES			
Combustible	N.º de Pruebas	CO [mg/m3]	NO [mg/m3]
Diesel	Prueba 1	528	48
Diesel	Prueba 2	582	49
Diesel	Prueba 3	701	46
	Promedio	603.66	47.66

Resultado final de emisiones B10

Mediante los datos finales de emisiones de gases para diésel al 90% y biodiesel 10 % se realiza con la ayuda del equipo adecuada que se muestra en la figura 10, las pruebas duran 15 minutos cada una, y como resultado final se tiene una la tabla 21.

Tabla 21
Cálculo final de las emisiones de gases diésel al 90% y biodiesel 10%.

EMISIONES			
Combustible	N.º de Pruebas	CO [mg/m3]	NO [mg/m3]
B10	Prueba 1	495	47
B10	Prueba 2	513	48
B10	Prueba 3	660	45
	Promedio	556	46.66

Resultado final de emisiones B20

Se determina los datos finales de emisiones de gases para diésel al 80% y biodiesel 20 %, con la ayuda del equipo adecuado como se muestra en la figura 10, las pruebas duran 15 minutos cada una, y como resultado final se tiene en la tabla 22.

Tabla 22

Cálculo final de las emisiones de gases diésel al 80% y biodiésel 20%.

EMISIONES			
Combustible	N.º de Pruebas	[CO mg/m3]	[NO mg/m3]
B20	Prueba 1	501	47
B20	Prueba 2	515	45
B20	Prueba 3	632	43
	Promedio	549.33	45

Opacidad

Resultado final de opacidad del diésel

Los datos finales de opacidad para diésel al 100 % durante las pruebas de 15 minutos cada una, con la ayuda del equipo correspondiente como se muestra en la figura 11, y como resultado final se refleja en la tabla 23.

Tabla 23

Cálculo final de la opacidad diésel 100%.

OPASIDAD		
Combustible	N.º de Pruebas	[%]
Diesel	Prueba 1	90
Diesel	Prueba 2	90
Diesel	Prueba 3	90
	Promedio	90

Resultado final de opacidad B10

Los datos finales de opacidad para diésel al 90 % y biodiésel al 10 %, cada una de las pruebas duran 15 minutos, que se realiza con el equipo correspondiente como se muestra en la figura 11, y como resultado final ver en la tabla 24.

Tabla 24

Cálculo final de la opacidad diésel 90% y biodiésel 10%.

OPASIDAD		
Combustible	N.º de Pruebas	[%]
B10	Prueba 1	80
B10	Prueba 2	80
B10	Prueba 3	80

Promedio 80

Resultado final de opacidad B20

Los datos finales de opacidad para diésel al 80 % y biodiésel al 20 %, cada una de las pruebas duran 15 minutos, que se realiza con el equipo correspondiente como se muestra en la figura 11, y como resultado final o en la tabla 24.

Tabla 25
Cálculo final de la opacidad diésel 80% y biodiésel 20%.

OPASIDAD		
Combustible	N.º de Pruebas	[%]
B20	Prueba 1	70
B20	Prueba 2	70
B20	Prueba 3	70
	Promedio	70

Diagramas energéticos de Sankey

Mediante el siguiente diagrama, previamente obtenido, ya todos los resultados finales, lo que se pretende interpretar son las pérdidas de energía con las cantidades de diésel al 100 %, que se genera durante el trabajo del motor Caterpillar 3054, lo cual permite observar que la energía que entra es la del combustible y las energía que se pierden durante el trabajo son las de escape y una mínima cantidad en el radiador, por ende, el calor útil es la cantidad que se utiliza para tener un buen rendimiento en el motor.

DIAGRAMA ENERGÉTICO DEL MOTOR CATERPILLAR 3054 A DIESEL

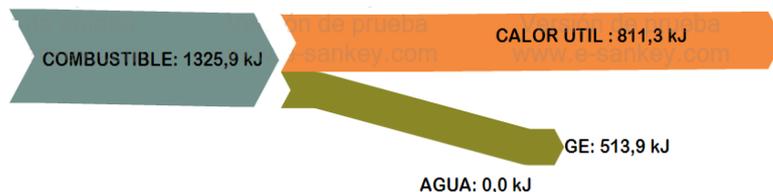


Figura 12. Diagrama energético de Sankey diésel 100%.

Por medio del siguiente diagramas previamente obtenido en todos los resultados finales, lo que se pretende interpretar son las pérdidas de energía con las cantidades de diésel al 90%- biodiésel 10%, que se genera durante el trabajo del motor Caterpillar 3054, lo cual permite observar que la energía que entra es la del combustible y las energías que se pierden durante el trabajo son las de escape y una mínima cantidad en el radiador, por ende, el calor útil es la cantidad que se utiliza para tener un buen rendimiento en el motor.

DIAGRAMA ENERGÉTICO DEL MOTOR CATERPILLAR 3054 A BIODIESEL B10

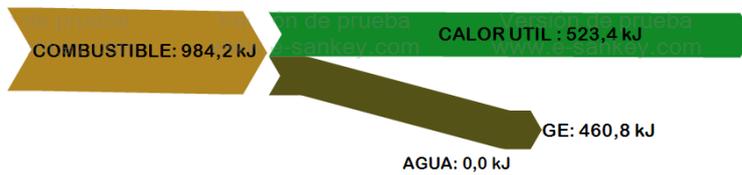


Figura 13. Diagrama energético de Sankey diésel 90% y biodiesel 10%.

A través del siguiente diagrama, previamente obtenido en ya todos los resultados finales, lo que se pretende interpretar son las pérdidas de energía con las cantidades de diésel al 80 % - biodiésel al 20 %, que se genera durante el trabajo del motor Caterpillar 3054, lo cual permite observar que la energía que entra es la del combustible y las energía que se pierden durante el trabajo son las de escape y una mínima cantidad en el radiador, por ende, el calor útil es la cantidad que se utiliza para tener un buen rendimiento en el motor.

DIAGRAMA ENERGÉTICO DEL MOTOR CATERPILLAR 3054 A BIODIESEL B20

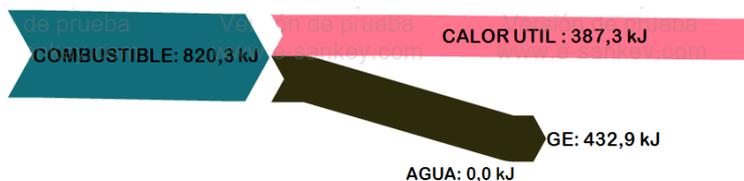


Figura 14. Diagrama energético de Sankey diésel 80% y biodiesel 20%.

Discusión

Rendimientos Energéticos y Exegéticos

Según (Marziyeh Hoseinpour, 2017), mediante la investigación realizada revela, que su eficiencia energética aumenta en sus pruebas Diesel, mientras que los datos exergéticos disminuyen ligeramente con Biodiesel B20. De los datos analizados en las pruebas de energía de Diesel, B10 y B20, a medida que la mezcla sea mayor obtenemos un porcentaje energético menor; ya que la mayor parte de perdidas producen los combustibles.

Las tablas ANOVA descomponen la variación de los datos en dos componentes: un componente entre grupos y un componente dentro de grupos. La razón-F, que en el caso energético muestra 210.23, tanto como en el exergéticos 1796.14, es el cociente entre el estimado entre grupos y el estimado dentro de grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05 %, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 3 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos.

Tabla 26
Cálculo estadístico energético anova

ANOVA ENERGÉTICO					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	99.5089	2	49.7544	210.23	0.0000
Intra grupos	1.42	6	0.236667	-	-
Total (Coorr)	100.929	8	-	-	-

Tabla 27
Cálculo estadístico exergético anova.

ANOVA EXEGÉTICO				
Fuente	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1600.56	800.281	1796.14	0.0000
Intra grupos	2.67333	0.445556	-	-
Total (Coorr)	1603.24	-	-	-

Pruebas de Múltiples Rangos Energético

Estas tablas aplican un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 28
Cálculo estadístico energético lsd.

MÉTODO 95% LSD ENERGÉTICO			
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
RE Diesel %	3	60.1667	X
RE B10 %	3	53.5667	X
RE B20 %	3	52.7333	X

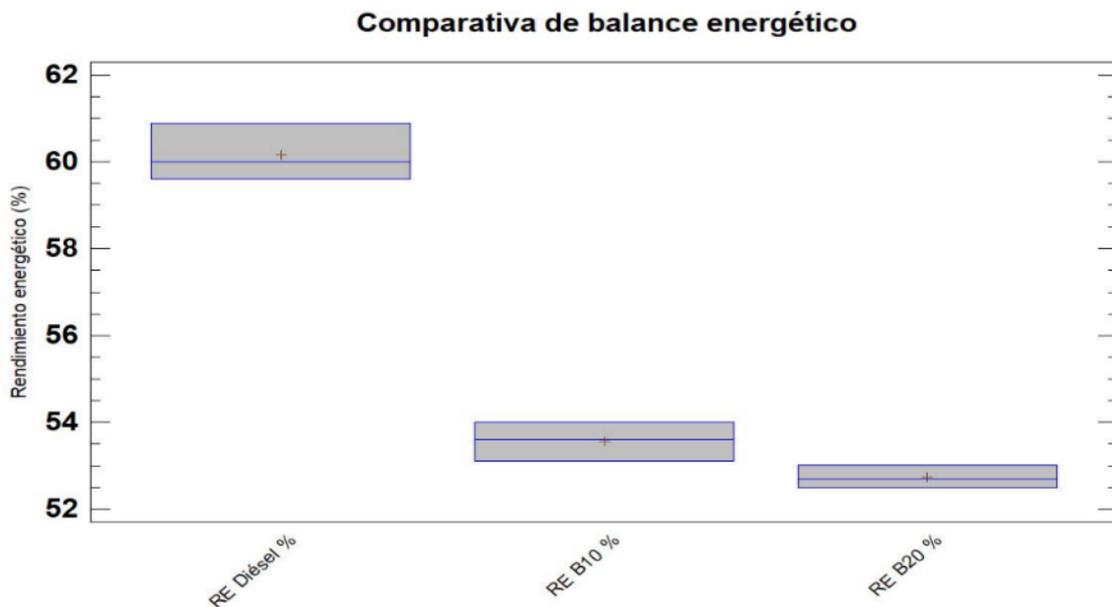
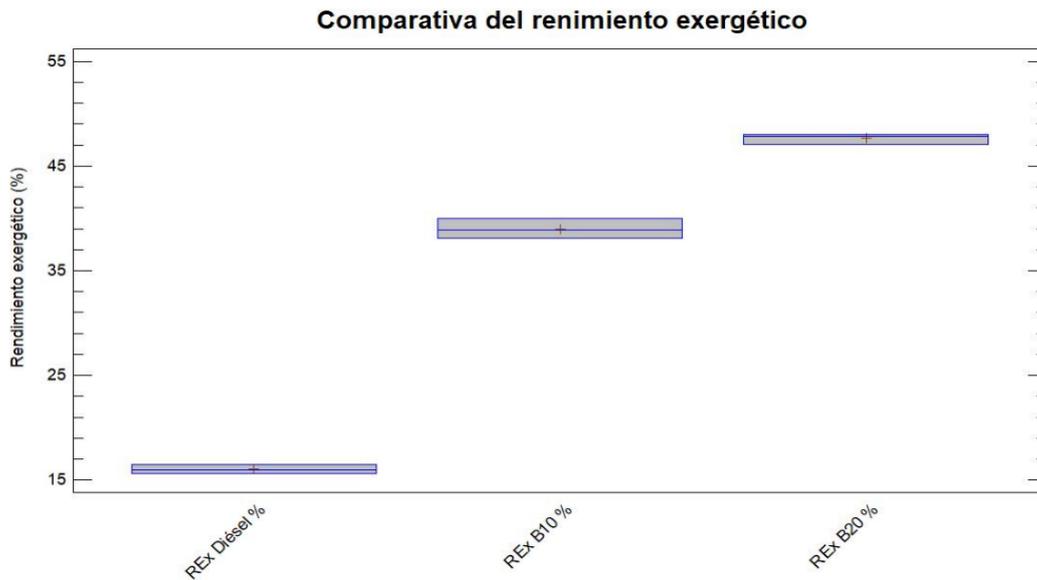


Tabla 29
Cálculo estadístico exegético lsd.

MÉTODO 95% LSD EXERGÉTICO			
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
REx Diesel	3	16.0333	X
Rex B10 %	3	39.0	X
Rex B20 %	3	47.6333	X



Determinación de Emisiones

La tabla ANOVA descompone la varianza de los datos en dos componentes: un componente entre-grupos y un componente dentro-de-grupos. Puesto que el valor-P de la prueba-F es menor que 0,05 %, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las 9 variables con un nivel del 95,0% de confianza. Para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras, seleccione Pruebas de Múltiples Rangos, de la lista de opciones tabulares.

Tabla 30
Cálculo estadístico anova de emisiones.

ANOVA DE EMISIONES					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	1.54986E6	8	19373.3	82.20	0.0000
Intra grupos	42420.7	18	2356.7	-	-
Total (Coorr.)	1.59228E6	26	-	-	-

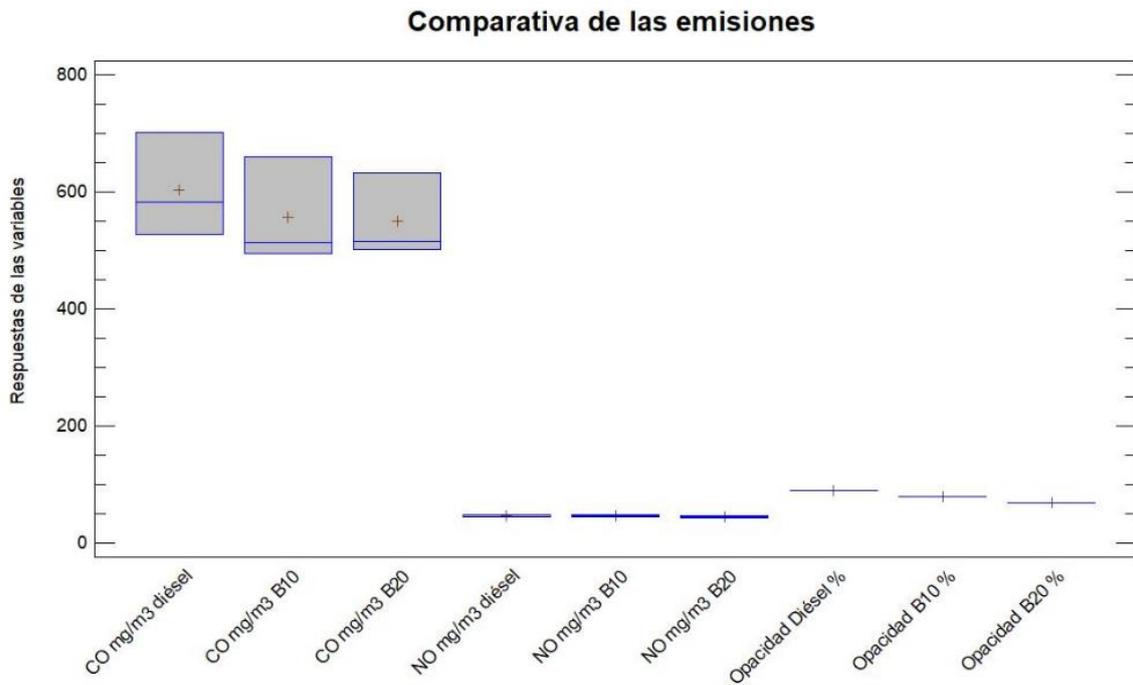
(M. Krishnamoorthi*, 2017) aclara, en su estudio de motor de combustión interna que, a una velocidad constante, con la mezcla determinada de aceite quemado de frituras (biodiesel) y diésel, que cuando el motor fue operado con mezcla de biodiesel hubo un aumento de porcentaje energético y el porcentaje energético fue menor; y las emisiones de gases están dentro de los límites permisibles. En los datos obtenidos en el motor Caterpillar 3054, al igual que (M. Krishnamoorthi*, 2017), muestra la misma tendencia de porcentaje energético y energético respectivamente, mientras que las emisiones de gases son mayores a los datos de (M. Krishnamoorthi*, 2017) y refleja que las emisiones de gases en biodiesel son menores que en diésel y la opacidad tiene un porcentaje de 75%.

Pruebas de Múltiple Rango Emisiones

Esta tabla aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. La mitad inferior de la salida muestra las diferencias estimadas entre cada par de medias. El asterisco que se encuentra al lado de los 18 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95,0% de confianza. En la parte superior de la página, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Con este método hay un riesgo del 5,0% al decir que cada par de medias es significativamente diferente, cuando la diferencia real es igual a 0.

Tabla 31
Cálculo estadístico lsd de emisiones.

MÉTODO 95% LSD DE EMISIONES			
	Casos	Media	Grupos Homogéneos
CO mg/m3 Diesel	3	45.0	X
CO mg/m3 B10	3	46.6667	X
CO mg/m3 B20	3	47.6667	X
NO mg/m3 Diesel	3	70.0	X
NO mg/m3 B10	3	80.0	X
NO mg/m3 B20	3	90.0	X
Opacidad Diesel%	3	549.333	X
Opacidad B10 %	3	556.0	X
Opacidad B20 %	3	603.667	X



Conclusiones

- A través del estudio con el motor Caterpillar 3054, se determinó que las pérdidas energéticas fueron del diésel 60 %, del biodiesel B10 53% y el biodiesel B20 52%, a esto se interpreta que el motor siendo un eje fundamental en el proyecto y en las pruebas, tiene menos pérdidas significativas mediante una apropiada elaboración de mezcla de biodiesel.
- Se definió que en el estudio exergético del motor Caterpillar 3054, el diésel dio como resultado 15 %, para el biodiesel B10 un resultado exacto de 38 % y por último para el biodiesel B20 un 47 %, estos resultados dan a conocer que para el diésel se obtiene un porcentaje con menores pérdidas, en base del análisis anova el diésel con respecto al biodiesel es significativo considerando todos los datos adquiridos.
- Mediante la observación en las pruebas del motor Caterpillar 3054, da a conocer que las diferentes emisiones de las pruebas, tanto como en el diésel da un resultado de un CO con 603.66 mg/m³, de igual manera en el biodiesel B10 se evidencia un CO de 556 mg/m³ y por último en biodiesel B20 resulta un CO de 549.33 mg/m³, esto quiere decir que el mejor comportamiento de emisiones es el biodiesel B20. Según el análisis de las pruebas de emisiones realizadas en NO, en cuanto al Diésel da como resultado 47.66 mg/m³, para el biodiesel B10 46.66 mg/m³, y para biodiesel B20 un rendimiento de 45 mg/m³, mediante los resultados obtenidos en emisiones reflejan que un óptimo comportamiento tuvo el biodiesel B20.

Por ello, el biodiésel B20 se evidencia de la mejor manera en cuanto a rendimiento en CO y NO pues reduce el impacto ambiental en contaminación y da mejores estados de operatividad en el mismo.

- Se empleó en la opacidad del motor, siendo este el caso de la máquina que se obtuvo de la universidad internacional SEK, donde dio como resultado como óptimo

comportamiento el B20 con un 70% de opacidad, lo que quiere decir que claramente este motor no podría estar en funcionamiento ya que la Agencia Nacional de Transito (ANT) permite una opacidad mínima de 60%.

Recomendaciones

- Contribuir al medio ambiente desarrollando nuevos sistemas mecánicos en base a biodiesel el cual está compuesto de materias orgánicas biodegradables, con ello se reduce el impacto ambiental y se relaciona mejor con el medio tomando en cuenta las nuevas normas sustentables en la sociedad de hoy en día.
- Para óptimos resultados centrar la atención en el eje fundamental del proyecto siendo este el motor, pues es el cual aporta para las pruebas que se llevan a cabo durante todo el periodo de realización, tomando en cuenta este paso fundamental en el proceso se obtendrán resultados más rápidos y efectivos.
- Realizar pruebas utilizando las mismas cantidades de biodiesel en motores de diferentes marcas o características, para poder realizar la comparación de los datos obtenidos de las diferentes pruebas en dicho proyecto, para poder corroborar la información obtenida con respecto a las pérdidas del motor.
- Enfocarse de forma directa a los resultados cuantificables y formulas, que forma parte del núcleo central del proyecto pues son los que dan las pautas para que se desarrolle el proyecto de una manera más integra.

Bibliografía

- Andrea Presciutti, F. A. (4 de Junio de 2017). Energy and exergy analysis of glycerol combustion in an innovative. *Energy and exergy analysis of glycerol combustion in an innovative*, pág. 6.
- Balli, O. (20 de Febrero de 2017). Advanced exergy analyses of an aircraft turboprop engine (TPE). *Advanced exergy analyses of an aircraft turboprop engine (TPE)*.
- Calle, A. C. (2014). Sistemas de Inyección en Motores Diesel. *Universidad de Sevilla*, 65.
- Carolino, C. G. (25 de marzo de 2013). ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE UM PROCESSO. *ANÁLISE ENERGÉTICA E EXERGÉTICA DE UM PROCESSO*. Lisboa, portugal .
- CATERPILLAR. (2013). GENERATOR SET. *CATERPILLAR*, 65.
- Dincer I, & C. (2013). Entropy and Exergy Concepts . *Entropy and Exergy Concepts* , 64.
- GUERRA, O. C. (23 de julio de 2014). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LA EMISIÓN* . Obtenido de *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO POR LA EMISIÓN* .
- INER. (30 de Marzo de 2015). *LÍNEA BASE PARA INVESTIGACIÓN*. Obtenido de *LÍNEA BASE PARA INVESTIGACIÓN*.
- Ing. Reinier Jiménez Borges, I. J. (2016). Método para la evaluación de la eficiencia e impacto ambiental de un generador de vapor. *Ingeniería Energética*, 3-6.
- Jafarmadar, S. (02 de julio de 2013). Three-dimensional modeling and exergy analysis in Combustion Chambers. *Three-dimensional modeling and exergy analysis in Combustion Chambers*, págs. 2-5.
- Jafarmadar, S. (26 de Abril de 2014). Exergy analysis of hydrogen/diesel combustion . *Exergy analysis of hydrogen/diesel combustion* , págs. 9-10.

- Jianqin Fu a, b. J. (29 de septiembre de 2013). Energy and exergy analysis on gasoline engine based on mapping. *Energy and exergy analysis on gasoline engine based on mapping*, págs. 3-4.
- Lelyen, R. (Marzo de 2015). *VIX*. Obtenido de VIX:
<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/2011/09/29/motor-electrico-como-funciona>
- lima, A. (5 de julio de 2015). *GERAÇÃO TÉRMICA* . Obtenido de GERAÇÃO TÉRMICA .
- M. Krishnamoorthi*, R. M. (2017). Availability analysis, performance, combustion and emission behavior. *Renewable Energy*, 2-7.
- M. Razmara, M. B. (24 de Diciembre de 2016). Optimal exergy-based control of internal combustion engines. *Optimal exergy-based control of internal combustion engines*, págs. 6-9.
- Mahesh. N. Shelara.D.Bagadeb, G. K. (20 de Enero de 2016). Energy and Exergy analysis of diesel engine powered trigeneration. *Energy and Exergy analysis of diesel engine powered trigeneration*, págs. 5-7.
- Marziyeh Hoseinpour, H. S. (2017). Energy and exergy analyses of a diesel engine fueled with diesel, biodiesel-diesel. *Accepted Manuscript*, 3-8.
- Mehdi Mehrpooya a, *. S. (27 de JUNIO de 2017). Energy, exergy and sensitivity analyses of a hybrid combined cooling,. *Energy, exergy and sensitivity analyses of a hybrid combined cooling*,, págs. 6-8.
- Mohammad Sharifia, G. J. (6 de julio de 2017). Comprehensive exergy analysis of a gas engine-equipped anaerobic. *Comprehensive exergy analysis of a gas engine-equipped anaerobic*.
- Mojtaba Mirzaei, M. H. (20 de marzo de 2018). Energy, exergy and economics analysis of an ORC working with several. *Energy, exergy and economics analysis of an ORC working with several*, pág. 3.
- More, S. (JULIO de 14 de 2013). *Exergy conservation*. Obtenido de Exergy conservation.

- Olin, I. R. (2015). Analisis exergetico a un motor de combustion interna. *Analisis exergetico a un motor de combustion interna*. Mexico D.F, Mexico, Mexico.
- OMS. (8 de ENERO de 2014). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*. Obtenido de OMS.
- Peyman Nemati, S. J. (6 de Septiembre de 2016). Exergy analysis of biodiesel combustion in a direct injection. *Exergy analysis of biodiesel combustion in a direct injection*, págs. 6-7.
- Ricardo, S. R. (2017). Composición elemental de mezclas. *EL SELVER*, 3-9.
- Saket Verma, L. D. (2017). An experimental investigation of exergetic. *International journal of hydrogen energy XXX*, 3-4.
- Saket Verma, L. D. (15 de septiembre de 2017). An experimental investigation of exergetic. *ScienceDirect*.
- Santo, D. E. (20 de Junio de 2013). Energy and Buildings. *Energy and exergy efficiency of a building internal combustion engine*. Sao Paulo, Brasil, Brasil: Elsevier.
- Thorthy, M. (Febreo de 2015). Generadores Electricos. Sidney, Australia, Australia.
- Valiente, M. S. (Junio de 2014). *Platea.pntic*. Obtenido de Platea.pntic.
- Van Gerpen, S. H. (2014). Second law analysis of Diesel Engyne Combustion. *El sevier*, 112-129.
- Vedran Mrzljak, I. P. (15 de Febrero de 2017). Energy and exergy analysis of the turbo-generators and steam turbine. *Energy and exergy analysis of the turbo-generators and steam turbine*, pág. 6.
- Villegas, A. M. (2016). MOTORES DE COMBUSTION INTERNA. *MOTORES DE COMBUSTION INTERNA*. Mexico D.F, Monterey, Mexico: Sant Celoni.
- Yaopeng Li, M. J. (2018). Comprehensive analysis of exergy destruction sources in different engine combustion. *Accepted Manuscript*, 4-8.