

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“BIODIESEL A PARTIR DE LA GRASA DE POLLO Y SUS EFECTOS
MECANICOS Y AMBIENTALES CON UN MOTOR DE COMBUSTION
INTERNA”**

Presentada Por:

JUVENAL VIVIANO GARCIA ARMAS

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE
EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

Lima - Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**BIODIESEL A PARTIR DE LA GRASA DE POLLO Y SUS
EFECTOS MECANICOS Y AMBIENTALES CON UN MOTOR DE
COMBUSTION INTERNA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
MAGISTER SCIENTIAE EN INGENIERÍA AGRÍCOLA**

Presentada Por:

JUVENAL VIVIANO GARCIA ARMAS

Sustentada ante el siguiente jurado:

Dr. Edgar Sánchez Infantas

PRESIDENTE

Dr. José L. Calle Maraví

ASESOR

Dr. Jesús A. Mejía Marcacuzco

MIEMBRO

Mg. Sc. Augusto F. Zingg Rosell

MIEMBRO

DEDICATORIA.

A Dios por su misericordia y grandeza.

A la Memoria de mis padres Gavino y

Victoria, por darme la vida y los valores.

A mis hijos Emir Alonso y Guillermo Arturo

Por ser los motores de mi vida.

A mi esposa Gina por su comprensión.

A mis amigos y compañeros.

AGRADECIMIENTO.

A la Universidad Nacional Agraria La molina, por haberme acogido como familia Molinera.

A Ramiro Navarro, por su apoyo desinteresado en la elaboración del biodiesel.

A Rubén Moreno, por su apoyo en la fase experimental y mediciones.

Al Dr. José Luis Calle Maraví, por su acertada orientación en el desarrollo de la tesis.

A los familiares y amigos que de una u otra forma colaboraron conmigo en el desarrollo de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.....	4
III. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	5
3.1. Objetivo General.....	5
3.2. Objetivos Específicos.....	5
IV. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	6
4.1. Hipótesis General.....	6
4.2. Hipótesis Específicas.....	6
V. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
5.1. La Energía en el Perú y el Mundo.....	7
5.1.1. Energía a nivel del mundo.....	8
5.1.2. Energía a nivel del Perú.....	10
5.2. Fuentes de energía.....	12
5.2.1. Fuentes no renovables.....	12
5.2.2. Fuentes renovables.....	15
5.2.3. Fuentes de energía en base animal (Aves domésticas).....	17
5.3.- Motores de Combustión Interna.....	21
5.3.1. Funcionamiento del motor Diésel.....	21
5.3.2. Curvas características y Parámetros de operación.....	22
5.4. Combustibles fósiles y la contaminación ambiental.....	25
5.4.1. Gases emitidos por los motores de combustion interna.....	26
5.5. Calentamiento global - Protocolo de Kioto.....	27
5.6. Normas “EURO”.....	28
5.7. Normas nacionales - contaminación ambiental.....	29

VI. MATERIALES Y METODOS	31
6.1. Materiales y Equipos	31
6.1.1. Equipos	31
6.1.2. Consumibles	31
6.1.3. Sistema para las pruebas.....	32
6.2. Métodos	33
6.2.1. Producción del biodiesel.....	33
6.2.2. Evaluación de las variables mecánicas.	35
6.2.3. Cálculo de las variables relacionadas.....	36
6.2.4. Medición de los gases productos de la combustión (CO, CO ₂).	36
VIII CONCLUSIONES	44
IX RECOMENDACIONES	46
X REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
XI. ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 : Composición de la carne de pollo según USDA	20
Cuadro 2: Limite de emisiones EURO III y IV	29
Cuadro 3: Estándares de calidad ambiental para el aire.	30
Cuadro 4: Equipos para la prueba.....	31
Cuadro 5: Características del Diésel.....	31
Cuadro 6: Características del Biodiesel de pollo.....	32
Cuadro 7: Datos de la titulación con KOH para calcular el IA de la grasa.....	33
Cuadro 8: Datos del proceso de transesterificación de la grasa.....	34
Cuadro 9: Resultados de la potencia desarrollada con diferentes mezclas de combustible	37
Cuadro 10: Resultados del Torque desarrollado con diferentes mezclas de combustible	38
Cuadro 11: Resultados del consumo horario con diferentes mezclas de combustible ...	39
Cuadro 12: Resultados del consumo específico con diferentes mezclas de combustible	40
Cuadro 13: Resultados de la emisión de CO con diferentes mezclas de combustible ...	41
Cuadro 14: Resultados del consumo específico con diferentes mezclas de combustible	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Consumo Mundial de energía Primaria en Mtoe	8
Figura 2: Consumo energético mundial IEA World Energy Outlook (2018).....	9
Figura 3: Cambios en las emisiones contaminantes del aire por región.....	10
Figura 4 : Velocidad de emisiones de CO2 en el nuevo escenario.....	10
Figura 5 : Proyecciones de la demanda de energía final entre 2014-2025	12
Figura 6: producción de electricidad a partir de carbón	13
Figura 7: Producción de electricidad a partir de petróleo.....	14
Figura 8 : Producción de Electricidad a partir de gas natural.....	15
Figura 9: Miles de cabezas de pollo en Sud América	18
Figura 10: Producción de pollo a nivel mundial por regiones y los 10 top productores	18
Figura 11: Cantidad de carne de pollo (aves) producida en el Perú en el 2013	19
Figura 12: Consumo per cápita de carne de ave en el Perú según OECD (2018).....	20
Figura 13: Ciclo Termodinámico del Motor Diésel	21
Figura 14: curvas características de un motor de combustión interna.....	22
Figura 15: Característica de carga de un motor diésel.....	23
Figura 16: Concentración atmosférica del dióxido de carbono.....	26
Figura 17: Proyección de emisión de CO2 en Mte.....	26
Figura 18: Esquema del sistema para pruebas.....	32
Figura 19: grafica de la potencia desarrollada por las mezclas	38
Figura 20: grafica del Torque desarrollado con diferentes mezclas de combustible.....	39
Figura 21: Curvas del Consumo horario con diferentes mezclas de combustible.....	40
Figura 22 : Curvas del Consumo específico con diferentes mezclas de combustible	41
Figura 23: Curvas de la emisión de CO con diferentes mezclas de combustible	42
Figura 24: Curvas de la emisión de CO2 con diferentes mezclas de combustible	43
Figura 25: grafica de la emisión de CO2 con diferentes mezclas de combustible	43

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Reporte de Análisis de Biodiesel.....	50
ANEXO 2: Pruebas estadísticas de errores y varianzas	61
ANEXO 3: Fotos del Proceso de elaboración del biodiesel.....	61
ANEXO 4: Sistema de prueba. y combustibles.....	64

ABREVIATURAS

ODM	Objetivos del Milenio
UNDP	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
BP	British Petroleum
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
MCI	Motor de combustión interna
DB5	Diésel comercial
BDP	Biodiesel de pollo
BDPXX	Biodiesel de pollo en porcentaje (xx representan el porcentaje)
BDP100	Biodiesel de pollo al cien por ciento
WETO	World Energy Technology and Climatic Outlook
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
P _c	Potencia del combustible
HV	Valor Calorífico del Combustible
Ch	Consumo Horario
P _b	Potencia al freno
T	Torque o par motor
M _f	Flujo másico de combustible
K _{rp}	Constante
P _e	Potencia eléctrica
NO _x	Óxidos de nitrógeno
HC	Hidrocarburos
Mte	Megatonelada equivalente
GEI	Gas de Efecto Invernadero
BDP0%	Biodiesel de pollo al cero por ciento

RESUMEN.

En esta investigación se estudió la forma de aprovechar la energía proveniente de la grasa de pollo, convirtiéndolo en biodiesel por medio de la transesterificación. como una alternativa de solución al problema de contaminación generada por los combustibles fósiles, además de realizar pruebas de desempeño del motor con diferentes proporciones de mezcla combustible en lo referente a sus parámetros tales como la potencia, par motor consumo horario, consumo específico y las emisiones de dióxido y monóxido de carbono fueron analizados. Un motor- generador diésel KIPOR KDE3500E de 3.3kW fue empleado. El biodiesel de la grasa de pollo se produjo de manera satisfactoria. El proceso de extracción de la grasa de pollo fue selectivo por lo que el 95% del material recolectado se convirtió en grasa con un índice de acidez de 2.13 y el 96% de la misma se convirtió en biodiesel, este fue mezclado en proporciones de 20, 40, 60% con el diésel comercial DB5. Las pruebas de funcionamiento del motor demostraron que la potencia, torque, desarrollados por las mezclas con respecto al diésel comercial no presentan una diferencia significativa, el consumo horario, y el consumo específico reportaron un incremento de 15% y 20% cada uno respecto al diésel comercial. La mayor ventaja sin embargo es con respecto a la baja emisión de contaminantes como en el caso del dióxido de carbono, ésta, se redujo en más del 20% en cualquier mezcla de diésel comercial más biodiesel comparado con el diésel comercial, asimismo el monóxido de carbono se redujo en un 10%, y el valor calorífico (Biodiesel de pollo 39566.12 kJ/kg, y del Diésel comercial 43000kJ/kg) del biodiesel de pollo resulto ser ocho por ciento menor que el del diésel comercial.

Palabras Claves: Grasa de pollo, Biodiesel, transesterificación, motor, combustión interna, contaminación ambiental.

ABSTRACT

In this research we studied how to harness the energy from chicken fat, converting it into biodiesel through transesterification. As an alternative solution to the problem of pollution generated by fossil fuels, in addition to performing engine performance tests with different proportions of fuel mixture in relation to its parameters such as power, torque hourly consumption, specific consumption and emissions of dioxide and monoxide were analyzed. A kipor KDE3500E 3.3kW diesel engine generator was use. The biodiesel of chicken fat was produced satisfactorily. The chicken fat extraction process was selective, so 95% of the material collected became fat with an acid number of 2.13 and 96% of it was converted into biodiesel, which was mixed in proportions of 20, 40, 60% with commercial diesel DB5. The engine performance tests showed that the power, torque, developed by the mixtures with respect to commercial diesel do not present a significant difference, hourly consumption, and specific consumption reported an increase of 15% and 20% each with respect to diesel commercial. The biggest advantage, however, is with respect to the low emission of pollutants, as in the case of carbon dioxide, this was reduced by more than 20% in any mixture of commercial diesel plus biodiesel compared to commercial diesel, also the monoxide of carbon was reduced by 10%, and the calorific value (chicken biodiesel 39566,12 kJ/kg, and commercial diesel 43000 kJ/kg) of chicken biodiesel proved to eight percent lower than that commercial diesel.

Keywords: Chicken fat, biodiesel, transesterification, engine, internal combustion, environmental pollution.

I. INTRODUCCIÓN.

En el año 2015, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) publicó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (que reemplazan a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)), con metas al 2030. Dentro de estos se incluye el objetivo número siete que busca “Garantizar el acceso a una energía asequible, y no contaminante” cuyas metas están orientadas a garantizar el acceso universal a servicios energéticos, ampliar la infraestructura para prestar servicios energéticos modernos y facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia (UNDP 2018).

Así mismo, se observa que el consumo de energía aumenta en relación directa con el crecimiento poblacional, y el desarrollo industrial. Si comparamos el consumo mundial de energía hasta el año 2017, se observa que esta demanda creció un 2.2% por encima del promedio de los últimos 10 años que fue del 1.7%. Este crecimiento fue impulsado por el crecimiento económico de los países desarrollados y una leve desaceleración del ritmo de mejoras en cuestiones energéticas (British Petroleum 2018). La demanda del petróleo creció un 1.8% mientras que su producción estuvo debajo del promedio en estos últimos dos años (2016-2017).

Se incrementó la demanda de energía en gas natural y energías renovables debido a la aplicación de políticas medio ambientales como la de China que cuya demanda se incrementó en un 15% fomentando el uso de gas a cambio del carbón (British Petroleum 2018).

Por el crecimiento en la demanda del petróleo, también el biodiesel se ha convertido en una fuente de energía notable y en una alternativa para producir energía limpia mediante el uso de motores de combustión interna, estufas o quemadores. El aumento del uso del biodiesel de primera generación en cada país ha sido a consecuencia de la implementación de políticas que promueven la producción y el uso extensivo de este biocombustible.

En algunos países se han promovido el cultivo de la palma aceitera para la producción de biodiesel con el fin de abastecer el consumo de combustible en la generación de energía, como es el caso de Colombia que en el 2012 que llegó a producir biodiesel de aceite de palma cercano a las 489 mil toneladas.

También se debe precisar que los biocombustibles de primera generación enfrentan algunas desventajas, entre ellas la competencia con los cultivos de consumo humano y la demanda de agua para el cultivo. Esto da como resultado un debate sobre alimentos y combustibles derivados de éstos, que es un punto clave a considerar durante el diseño de nuevas políticas en algunos países. En consecuencia, se han identificado nuevas alternativas y materias primas para superar estos problemas; la mayoría de ellos apunta a la promoción de biocombustibles de segunda, tercera y cuarta generación que resultan de cultivos no comestibles y otras materias primas.

La producción de biodiesel a partir de estas materias primas no comestibles y su rendimiento en motores de combustión interna han sido ampliamente revisados por algunos autores alrededor del mundo. Ashraful et al. (2014) realizó una valiosa revisión de las características y el rendimiento del biodiesel hecho de aceites vegetales no comestibles. Muchos investigadores consideraron como materias primas al aceite de semilla de caucho, aceite de semilla de algodón, aceite de jojoba, aceite de tabaco, linaza y *Jatropha*. Asimismo, Wan Ghazali et al. (2015) hizo una revisión de los efectos del biodiesel a partir de materias primas diferentes a las mencionadas anteriormente. En sus trabajos, los autores, incluyeron grasas animales como la grasa de pollo, sebo de pato, manteca de cerdo, grasa amarilla y otras materias primas no comestibles como ricino, sésamo, entre otros.

La grasa de pollo es una materia prima de bajo costo extraída de plumas, sangre, despojos y recortes de pollo después del proceso de rizado. Alptekin et al. (2011) demostró la viabilidad de producir biodiesel a partir de grasa de pollo teniendo en cuenta las normas internacionales. Del mismo modo, Shi et al. (2013) produjo biodiesel a partir de grasa de pollo residual mediante un proceso catalítico integrado de membrana compuesta y metóxido de sodio. Estos investigadores llegaron a la conclusión que era posible producir este biocombustible con una conversión del 98,1% de la transesterificación en condiciones óptimas. Por otra parte, Rasim Behcet. (2015) evaluó el rendimiento de dicho biodiesel en

un motor diésel de inyección directa mezclando bioetanol con diésel. El biodiesel de grasa animal produjo menos emisiones de CO y de hidrocarburos totales que el combustible diésel.

La utilización del biodiesel como fuente de energía en los motores de combustión interna es un área relevante de investigación en la que varios autores han trabajado los últimos años, sin embargo, la mayoría de las investigaciones disponibles en la literatura se basan en el rendimiento de los motores de combustión interna empleados en el sector del transporte.

II. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION.

El consumo de energía aumenta constantemente como consecuencia del crecimiento poblacional, y el desarrollo industrial. Si comparamos el consumo mundial de energía de los últimos años hasta el 2017, vemos que esta demanda creció un 2.2% por encima del promedio de los últimos 10 años. Este crecimiento fue impulsado por el crecimiento económico de los países desarrollados y una leve desaceleración del ritmo de mejoras en cuestiones energéticas (British Petroleum 2018). El reporte afirma que la demanda del petróleo creció un 1.8% mientras que su producción estuvo debajo del promedio en estos últimos dos años (2016-2017).

Dadas estas condiciones, debe buscarse alternativas más económicas y sostenibles que permitan la reducción de los costos de generación de energía.

En respuesta a esta situación se vienen incorporando tecnologías de generación de energía que permitan abastecer esta demanda a través de proyectos que promueven la sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles como el biodiesel en motores de combustión interna.

La implementación de los Motores de Combustión Interna (MCI) a biodiesel para la producción de energía, ayudará a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y permitiría el reaprovechamiento de los residuos pecuarios generados por las actividades productivas, que, cuando no se gestionan correctamente, ocasionan contaminación del ambiente y problemas de salubridad en la población.

Teniendo en cuenta el significado del cuidado del medio ambiente y la implicancia del uso de los combustibles fósiles se considera de gran importancia estudiar, analizar y evaluar el desempeño de los MCI operados a biodiesel.

III. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.

3.1. Objetivo General.

Evaluar el comportamiento físico y ambiental de un motor Diésel con diferentes proporciones de mezcla del diésel, con el biodiesel de la grasa de pollo.

3.2 Objetivos Específicos.

3.2.1 Evaluar los parámetros efectivos (potencia, par motor, consumo horario y específico) del motor de combustión interna operando con diferentes mezclas del Diésel comercial (DB5) con biodiesel de pollo (BDP xx) para determinar su capacidad operativa con respecto al Diésel comercial.

3.2.2. Evaluar la emisión de gases con el motor operando a diferentes proporciones de mezcla para determinar niveles de contaminación respecto al Diésel comercial.

3.2.3. Determinar el poder calorífico superior e inferior del biodiesel de grasa de pollo en relación con el Diésel comercial (DB5) con fines de uso como fuente de energía que pueda sustituir el diésel comercial.

IV. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

4.1. Hipótesis General.

El motor de combustión interna de encendido por compresión utilizaría el combustible derivado del proceso de esterificación de la grasa de pollo, aprovechando los desechos del pollo y contribuyendo a la reducción de la contaminación ambiental.

4.2. Hipótesis Específicas.

4.2.1. El Motor diésel de encendido por combustión tiene un comportamiento similar al ser operado con el diésel comercial (DB5) así como con mezclas de biodiesel de pollo (BDP xx).

4.2.2. La emisión de gases (CO y CO₂) con el motor operando con biodiesel de pollo (BDP xx) es menor que cuando opera con el combustible comercial (DB5).

4.2.3. La potencia calórica desarrollada por el biodiesel de pollo (BDP100) es semejante a la del combustible comercial (DB5).

V. REVISIÓN DE LITERATURA.

5.1. La Energía en el Perú y el Mundo.

La energía juega un rol vital dentro de la sociedad y toda actividad humana, haciendo que todas las transformaciones, sin excepción, dependen de las diferentes formas de energía.

A lo largo de los años, el ser humano ha ido transformando los recursos del planeta de acuerdo con sus necesidades y a medida.

Con la revolución tecnológica y el crecimiento poblacional, la demanda energética ha ido aumentado de forma sustancial y con ello también la dependencia de las naciones por las fuentes energéticas tradicionales como el carbón y el petróleo. Estos combustibles generan una gran preocupación no solo por el impacto que tienen en la seguridad energética, sino también por la relación directa que existe entre el consumo de combustibles fósiles y el impacto negativo en el ambiente.

Organismos importantes como la Agencia Internacional de la Energía, la Comisión Europea y el Departamento de Energética de los Estados Unidos han confirmado que las necesidades energéticas a escala mundial continúan incrementándose de forma inevitable, así como, la dependencia por los combustibles fósiles. Además, advierten sobre la necesidad de que los gobiernos modifiquen sus políticas energéticas para frenar las emisiones de CO₂. Agencia Internacional de la Energía (2015).

La Agencia Internacional de Energía ha informado que los recursos energéticos en el planeta, como en el caso del petróleo, se agotarán en las próximas tres décadas y, el gas y el uranio cinco años después. El único combustible fósil que perdurará hasta el 2060 será el carbón, pero su uso implicaría la generación de grandes niveles de contaminación. Pulla y Sans (2013).

5.1.1. Energía a nivel del mundo.

La demanda de fuentes energéticas tradicionales como el petróleo y carbón no ha disminuido en volumen, y por el contrario sigue en aumento a nivel mundial Figura 1.

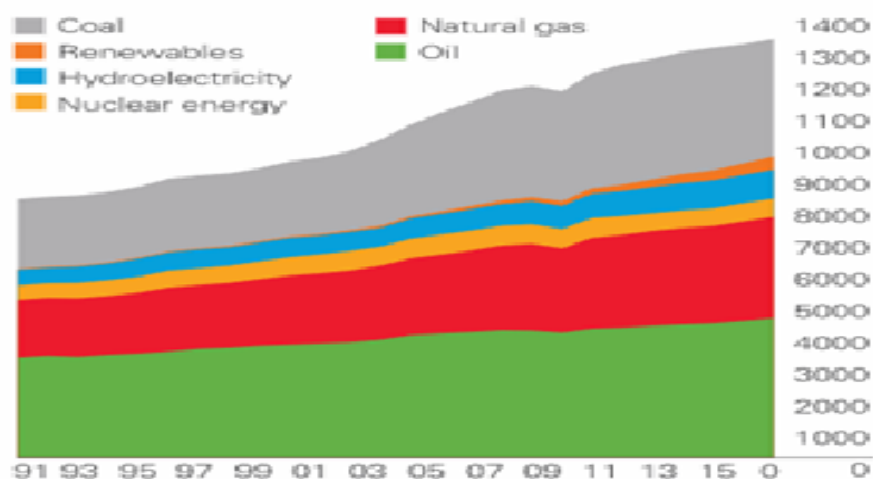


Figura 1: Consumo Mundial de energía Primaria en Mtoe

Fuente: British Petroleum, (2016)

De acuerdo con los datos de la British Petroleum (2016), el consumo de energía primaria en el 2016 sigue la distribución que se ve en la Figura 1. Como se puede observar el consumo de energía procedente del petróleo, carbón, gas natural y nuclear supera con creces al consumo de energías renovables.

Según la Agencia Internacional de Energía entre los años de 1971 y 2001, el consumo de energía a escala mundial aumentó de unas 5 500 Mtoe a más de 10 000, lo que supuso un aumento cercano al ochenta por ciento en treinta años.

Por otro lado, las proyecciones del *World Energy, Technology and Climate Outlook* (WETO 2004) realizado por la Comisión Europea en el 2004 no fueron más esperanzadoras. De acuerdo con el informe WETO, durante el periodo 2000 – 2030 la demanda mundial de energía aumentaría a un ritmo aproximado del 1.8 por ciento anual y los combustibles fósiles siguen siendo las fuentes principales de energía para el 2030, por lo que este prevé un incremento de las emisiones mundiales de CO₂ superior al crecimiento del consumo de energía (2.1 por ciento anual promedio).

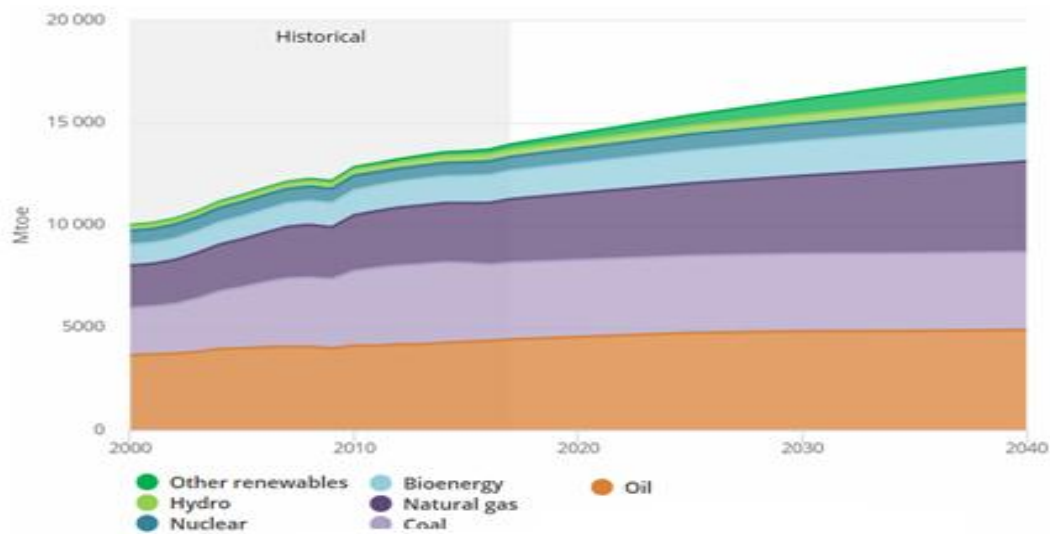


Figura 2: Consumo energético mundial IEA World Energy Outlook (2018)

En contraste, las proyecciones más recientes del informe WETO auguran un futuro brillante para las energías renovables hacia el año 2040, en tanto las renovables capturen dos tercios de las inversiones mundiales en centrales eléctricas, puesto que, para muchos países se convertiría en la fuente de nueva generación más económica. El rápido crecimiento de la energía solar fotovoltaica liderada por China y la India ayudaría a la energía solar a convertirse en la mayor fuente, en cuanto a capacidad instalada, de bajas emisiones de CO₂ para el 2040, fecha en la que la proporción de las energías renovables en la generación total de electricidad alcanzaría el 40% (Agencia Internacional de Energía 2018). (Figura 2).

Con referencia a las emisiones de gases de efecto invernadero, las nuevas políticas sobre calidad del aire irían en aumento con lo que las emisiones mundiales de todos los principales contaminantes disminuirían (Figura 3). A pesar de esto, las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía aumentarían ligeramente hasta el 2040 (Figura 4).

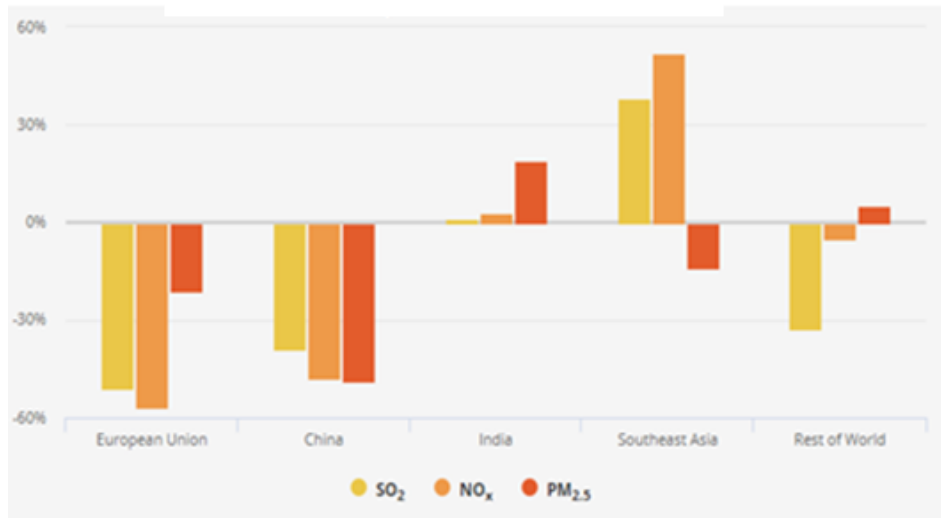


Figura 3: Cambios en las emisiones contaminantes del aire por región

Fuente: Agencia Internacional de Energía (2017)

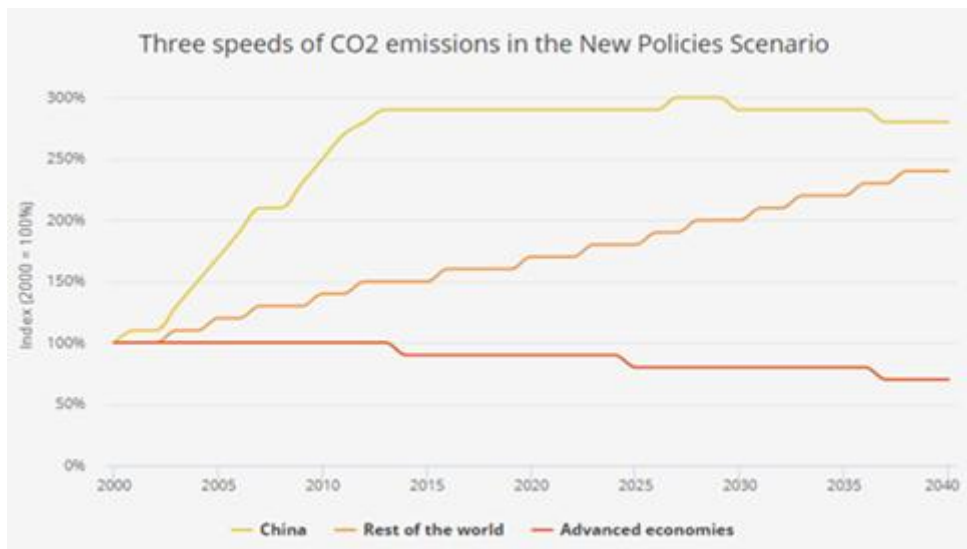


Figura 4 : Velocidad de emisiones de CO2 en el nuevo escenario

Fuente: Agencia Internacional de Energía 2017

5.1.2. Energía a nivel del Perú.

El auge económico de nuestro país, el incremento del Producto Bruto Interno, la creciente inversión privada en infraestructura, y la inversión social desarrollada por el estado han sido principales determinantes del aumento de la demanda energética del país, sobre todo en la demanda y producción de electricidad. Durante el periodo del 2003 al 2013 la producción de electricidad aumentó en 82%, en tanto, la producción de hidrocarburos lo hizo en 26%.

En ese mismo periodo, el consumo final nacional de estos recursos energéticos se incrementó en 92% para electricidad mientras que en 100% para los hidrocarburos líquidos (MINEM 2014).

En el 2014 el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) publicó el documento Plan Energético Nacional 2014-2025. En este documento se presentan proyecciones de la demanda de energía hacia el 2025 para dos escenarios de crecimiento económico: un escenario optimista y un escenario conservador. En la Figura 5 se muestran estas proyecciones de la demanda para los distintos escenarios en peta julios (PJ).

De acuerdo con los resultados del informe, en el próximo periodo del 2014 – 2025, se espera que el consumo final de energía continúe en aumento en función al desarrollo de la economía interna, el crecimiento de la población peruana y la ampliación de la cobertura energética.

Con respecto a las energías renovables, el MINEM había anunciado que para el 2018 la participación en la matriz energética de las energías renovables no convencionales alcanzaría el 5%, y que para el 2022 se duplicaría la producción de energías renovables de hidroeléctricas.

Las fuentes primarias de energía más empleadas para la producción de fuentes secundarias como la energía eléctrica son el petróleo y el gas natural (46 por ciento). El sector transporte emplea petróleo (91 por ciento) y gas natural (8 por ciento).

Según las proyecciones, la dependencia por los combustibles fósiles seguirá siendo determinante, y la contribución de los hidrocarburos líquidos y gaseosos en la matriz energética alcanzaría el 76%.

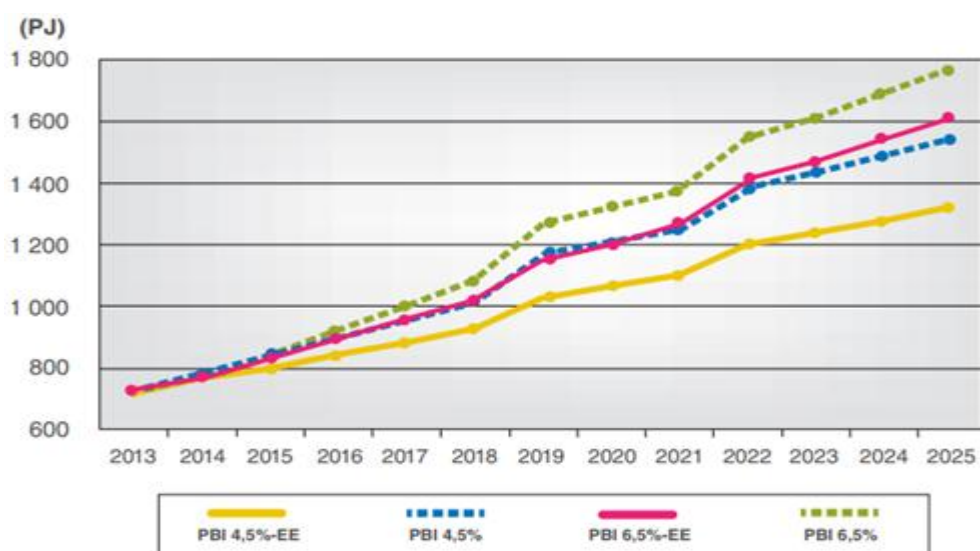


Figura 5 : Proyecciones de la demanda de energía final entre 2014-2025
Fuente: MINEM (2014)

5.2. Fuentes de energía.

5.2.1.- Fuentes no renovables.

Según Fernández (2010), las fuentes de energía no renovables se definen tradicionalmente como aquellas que están almacenadas en cantidades inicialmente fijas, comúnmente en el subsuelo, y a medida que se consumen se van agotando.

La generación de energía eléctrica en el mundo depende principalmente de estas fuentes no renovables.

Dentro de las fuentes de energía no renovables primarias para la generación de electricidad (energía secundaria) podemos encontrar las siguientes:

a.- Carbón.

El carbón fue considerado como el primer combustible fósil y como la fuente de energía más importante hasta mediados del siglo XX (Azcarate y Mingorance 2002).

De acuerdo con las estadísticas de la (Agencia Internacional de Energía 2015), la participación del carbón en la producción de electricidad en el 2014 era de más del 40 por ciento, figura 6.



Figura 6: producción de electricidad a partir de carbón

Fuente: agencia Internacional de energía (2015)

Por otro lado, en el Perú, la participación del carbón en la generación de energía eléctrica es mucho menor respecto a la mundial. Según las estadísticas del MINEM en el 2014, su participación fue del 2%.

b.- Petróleo.

El petróleo es, por excelencia, uno de los combustibles fósiles más utilizados a nivel mundial en la historia.

Esto se debe a que su aprovechamiento es variado. El petróleo puede aprovecharse para producir calor mediante la combustión con el oxígeno del aire, también puede ser utilizado directamente para el accionamiento de los motores de vehículos terrestres, marítimos, aéreos.

Sin embargo, su aporte en la generación de energía eléctrica ha disminuido en los últimos años.



Figura 7: Producción de electricidad a partir de petróleo

Fuente: Agencia Internacional de Energía (2015)

Según cifras de la Agencia Internacional de Energía en el 2015 (Figura 7) su aporte en la generación de energía eléctrica no llega al 5 % hasta ese año.

En el Perú el porcentaje es similar, de acuerdo con el MINEM (2014), el aporte del petróleo fue del 6% en ese año.

Esto se debe en gran medida a que la participación del gas natural en los últimos años ha desplazado a las demás fuentes, siendo actualmente el que mayor aporte tiene en la red eléctrica.

c.- Gas natural.

El consumo del gas natural es prácticamente inmediato después de su producción.

Las formas de aprovechamiento del gas natural pueden ser de dos tipos: los térmicos por quema directa y los térmicos a través de motores de combustión. Su aporte actual es mayor al 20% (Figura 8).

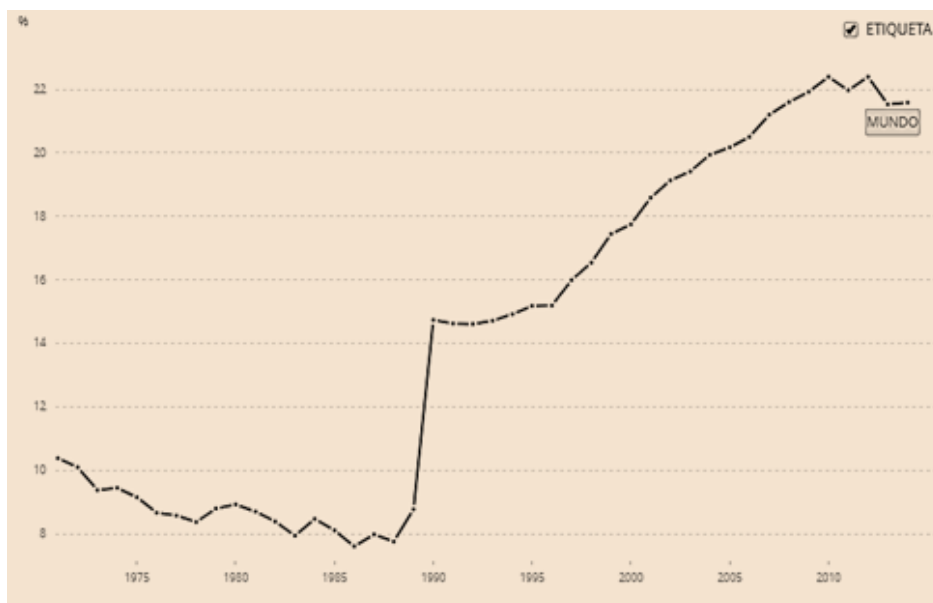


Figura 8 : Producción de Electricidad a partir de gas natural

Fuente: Agencia Internacional de energía, (2015)

En Perú la situación es similar; de acuerdo con el MINEM (2014) en el 2014 su aporte en la red eléctrica era del 56 % superando al petróleo e hidrogenaría.

5.2.2.- Fuentes renovables.

De acuerdo con Fernández (2010), las fuentes de energía renovable son aquellas que, administradas de forma adecuada, pueden explotarse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible en la tierra no disminuye a medida que se aprovecha. La totalidad de las energías renovables derivan directa o indirectamente de la energía solar.

Fernández (2010) señala que, «las energías renovables son, junto con el ahorro y la eficiencia energética, la llave para un futuro energético limpio, eficaz, seguro y autónomo».

a.- Energía Solar.

La energía solar es una de las fuentes energéticas más antiguas en el planeta.

El aprovechamiento de la energía solar en términos generales se puede dar de dos formas: a través de la conversión fotovoltaica, en donde la energía lumínica solar se convierte en electricidad; y a través de la conversión de la energía solar en energía térmica.

Con relación a su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica, a nivel nacional su aporte según datos del MINEM para el 2014 fue de 0.48 por ciento, siendo superado por las fuentes hidroeléctricas y eólicas.

b.- Energía Eólica.

La energía eólica tiene su origen en la radiación solar, cuando las distintas partes del planeta, no se calientan de igual modo y se generan diferencias en la presión en la atmósfera.

Su aprovechamiento se realiza a través de aerogeneradores que producen energía eléctrica. En el Perú, se tienen proyectos de aerogeneradores en localidades como Malabrigo, Marcona. Y Talara.

Perú posee un gran potencial eólico, pese a esto, su aporte al sistema interconectado actual es aún muy limitado. De acuerdo con el MINEM en el 2014 su aporte en la generación de energía eléctrica fue del 0.61 por ciento.

c.- Energía Hidráulica.

En el Perú, la energía hidráulica cubre un porcentaje importante de la demanda de energía eléctrica, siendo su aporte según datos del MINEM en el 2014 de 48.64 por ciento.

d.- Energía de la biomasa.

El Perú tiene un potencial de 177 MW de instalación en plantas de energía de biomasa convencional y 51 MW en plantas de biogás. Su aporte en la matriz energética eléctrica en el 2014 fue sólo del 2 por ciento.

e.- Bioenergía.

✓ Biodiesel.

Se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. A partir de un proceso llamado transesterificación, los aceites

derivados orgánicamente se combinan con alcohol y se alterna químicamente para formar ésteres grasos como el etil o metilo éster.

✓ **Gas del proceso de fermentación.**

Se puede producir un gas combustible de la fermentación de los desechos sólidos. Este es una mezcla de metano y dióxido de carbono.

✓ **Bioetanol.**

El bioetanol es un compuesto que se produce por la fermentación de los azúcares y/o almidón que se encuentran en los productos de origen vegetal como los cereales, caña de azúcar, entre otros.

✓ **Micro algas.**

Existen tres principales clases de microorganismos que utilizan la energía de la luz: a) Las cianobacterias, que presentan fotosíntesis isoxigénica, en la cual se produce O₂ y presentan fotosistemas I y II y fijan el CO₂., b) Eubacterias fotosintéticas, que realizan fotosíntesis anaerobia, no producen O₂ y solo presentan el fotosistema I. y c) Halobacterias, no presentan clorofila ni transporte fotosintético de electrones. Poseen una bomba de protones dependiente de la luz, la cual produce energía, pero no poder reductor. Requiere de una fuente orgánica de carbono. Las microalgas son organismos unicelulares microscópicos (2-200 µm), polifiléticos, su metabolismo puede ser autótrofo o heterótrofo y suelen ser eucariontes, aunque las cianobacterias procariontes son frecuentemente incluidas como microalgas (Greenwell et al., 2009)

5.2.3. Fuentes de energía en base animal (Aves domésticas).

a.- Producción y consumo de pollo en el Perú.

Producción.

La producción de carne de ave en América del Sur muestra un histórico creciente en la Figura 9.

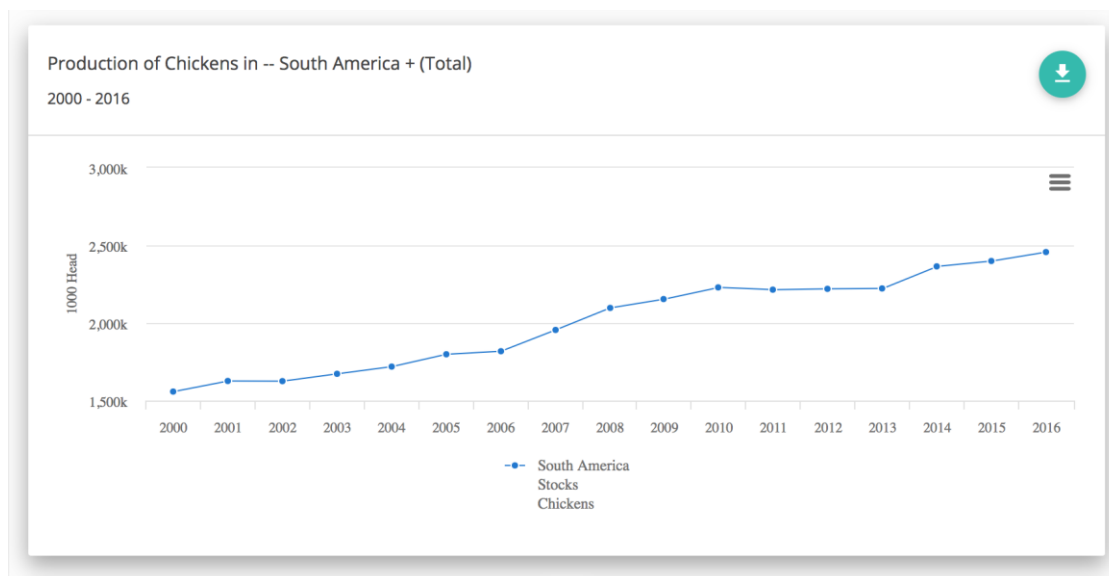


Figura 9: Miles de cabezas de pollo en Sud América

Fuente: FAOSTAT

b.- Producción de pollo a nivel mundial.

Muestra a Asia como el mayor productor con un 54.1 por ciento y a América Latina con el 26.7 por ciento de esta producción ver Figura 10.

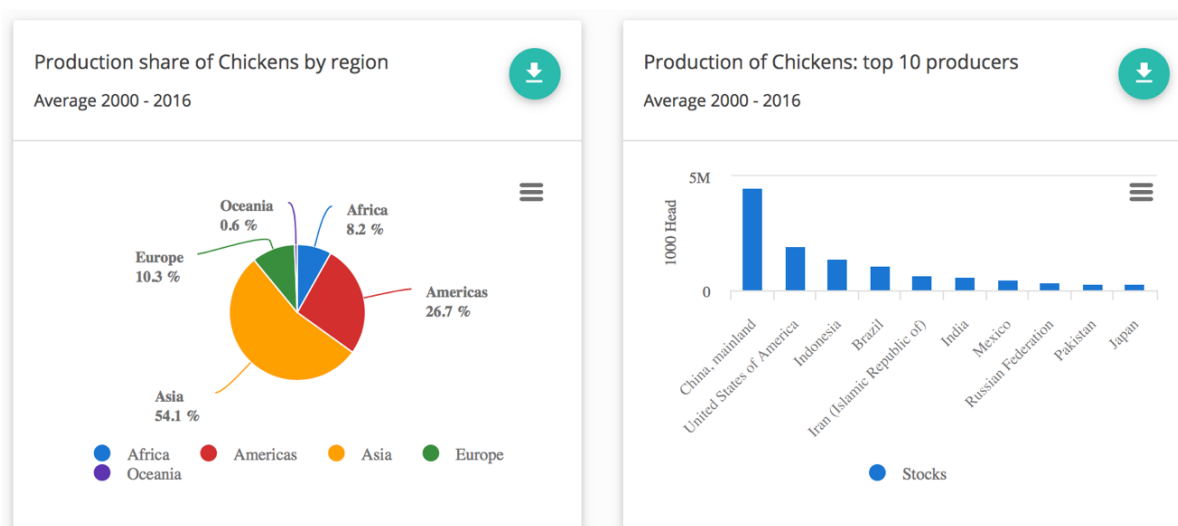


Figura 10: Producción de pollo a nivel mundial por regiones y los 10 top productores

Fuente: FAOSTAT

c.- Producción de aves en el Perú.

La producción de carne de aves en su mayoría pollos hasta el año 2013 el Perú producía más de 350000 toneladas.



Figura 11: Cantidad de carne de pollo (aves) producida en el Perú en el 2013

Fuente: FAOSTAT (Accessed 27 October, 2018)

Consumo per cápita de carne de ave en el Perú.

“Si bien la industria cárnica mundial proporciona alimentos y un medio de vida para miles de millones de personas, también tiene importantes consecuencias para el medio ambiente y la salud en el planeta. Este indicador se presenta para la carne de vacuno, cerdo, aves de corral y ovejas. El consumo de carne de aves de corral se mide en miles de toneladas de peso en canal expresadas como peso listo para cocinar y en kilogramos de peso minorista per cápita. Los factores de conversión de peso en canal a peso minorista son: 0.88 para carne de avícola.” (OECD, 2018)

El siguiente cuadro muestra el consumo per cápita de pollo a nivel mundial. Se observa que para Perú el consumo es de 38.2 kg per cápita para el año 2017.

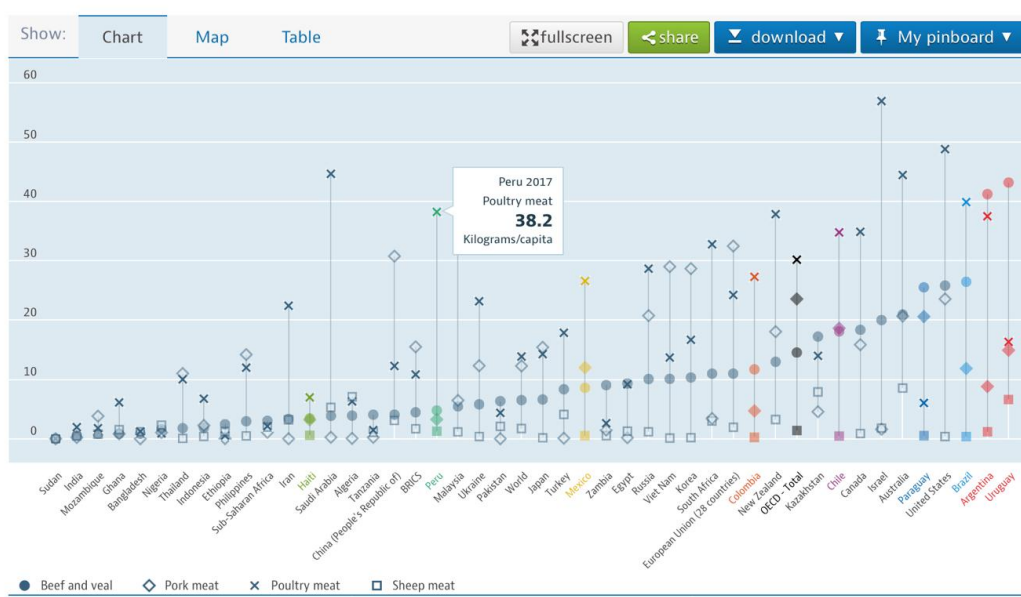


Figura 12: Consumo per cápita de carne de ave en el Perú según OECD (2018)

Fuente: OECD (2018). Meat consumption (indicator). Doi: 10.1787/fa290fd0-en (Accessed on 26 October 2018)

d.- Composición de la carne de pollo según FAO.

El Cuadro 1, muestra la composición de la carne de pollo crudo.

De acuerdo a la base de datos INFOODS de FAO, los datos disponibles para Perú no presentan los valores de composición de una carcasa completa de pollo. Sólo presentan los valores de pulpa de carne de pollo. Comparativamente, los datos del Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA) calculan el porcentaje de grasa en un pollo entero (partes comestibles).

Cuadro 1 : Composición de la carne de pollo según USDA

Composición proximal por 100 g totales	Pulpa de carne de pollo	Pollos parrilleros, carne y piel, crudo
Agua (g)	75.5	65.99
Proteína (g)	21.4	8.60
Lípidos totales (g)	3.1	15.06
Referencias	Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Centro Nacional de Alimentación y Nutrición, 2009.	USDA Food Composition Database (ndb.nal.usda.gov)

Fuente: INFOODS de FAO

5.3. Motores de Combustión Interna.

5.3.1 Funcionamiento del motor Diésel.

De forma general el motor de combustión interna es una máquina que convierte la energía química del combustible, en energía mecánica de rotación.

En los motores de combustión interna diésel el combustible inyectado se quema dentro de la cámara de combustión, cuando el pistón ha llegado a su tope superior comprimiendo el aire admitido al cilindro motor, expandiéndose y ejerciendo presión sobre la cabeza del pistón produciendo trabajo mecánico (Gilardi 1985), esta operación que se desarrolla en el interior de la máquina le da la característica de motores endotérmicos.

El porcentaje de aprovechamiento en este tipo de conversión energética (térmica del combustible a mecánica) no supera el 40 por ciento en el diésel (Gilardi 1985)

Un ciclo termodinámico es «un proceso o conjunto de procesos que dejan nuevamente el sistema en el estado original que tenían antes de que se realizara» (Rafael y Hernández 2014).

El ciclo Diésel está basado en el ciclo de cuatro tiempos se inyecta combustible dentro del pistón una vez que se realiza la compresión del aire.

En el primer tiempo del ciclo Diésel, entra solo aire; esto origina que, en el segundo tiempo el aire se comprima y se caliente cuando el pistón llega al punto muerto superior (PMS); en ese instante es en el que el diésel es inyectado. En el tercer tiempo la elevada presión origina que el diésel se encienda y produzca trabajo. Finalmente, el cuarto tiempo del ciclo se produce la expulsión de los gases. Figura 13.

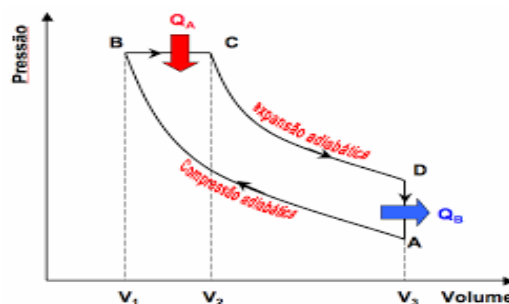


Figura 13: Ciclo Termodinámico del Motor Diésel

Fuente: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/thermo/diesel.html>

5.3.2 Curvas características y Parámetros de operación.

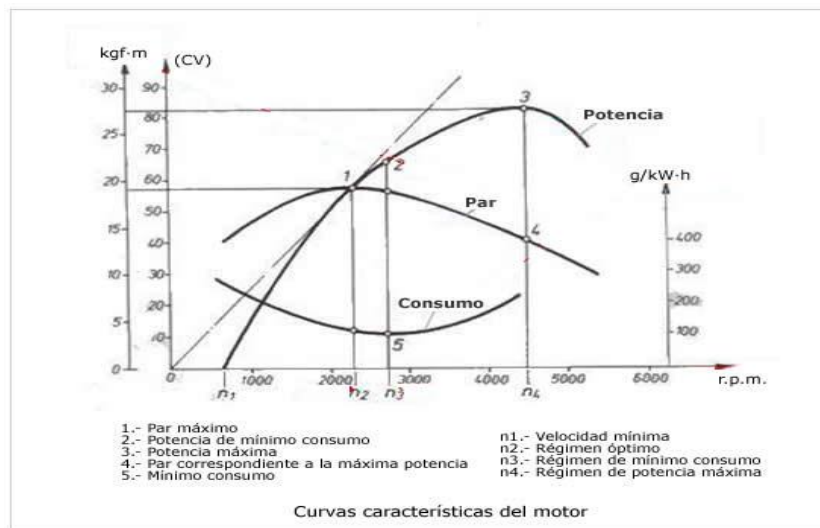


Figura 14: curvas características de un motor de combustión interna

Fuente: <http://crashoil.blogspot.com> 2019

Estas curvas son características de un motor cuando la variable es el número de revoluciones del eje cigüeñal, manteniéndose constante la posición del órgano de comando del sistema de alimentación de combustible y teniendo como variables dependientes, la potencia efectiva, el torque, consumo horario y específico de combustible.

En el caso de mantener constante la velocidad de rotación del eje cigüeñal; y teniendo como variable independiente la potencia efectiva, además de tener como variable dependiente el consumo específico del combustible como primer lugar y el consumo horario de combustible en segundo. Se le denomina característica de carga del motor diésel. Figura 15

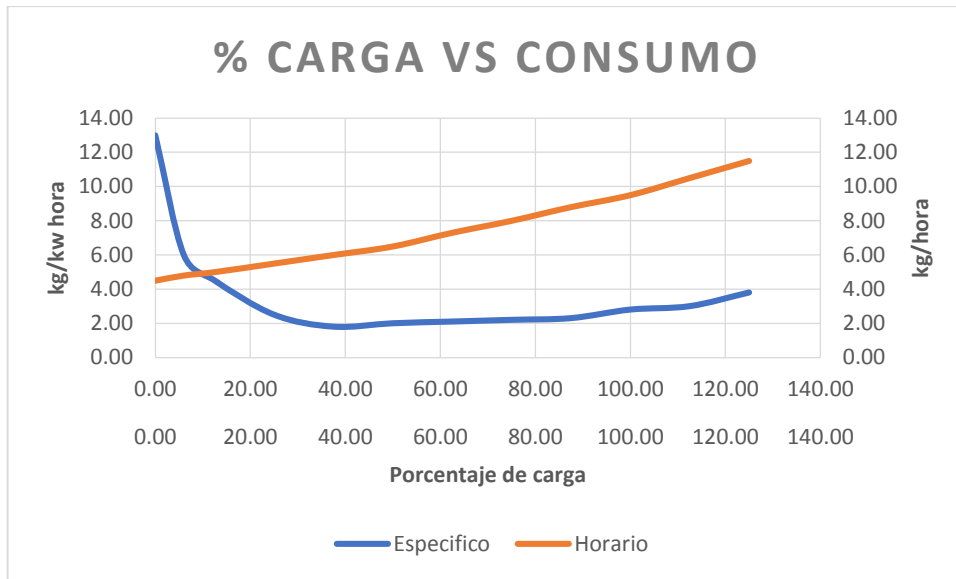


Figura 15: Característica de carga de un motor diésel

El estudio de las características de carga permite evaluar la economía del combustible del motor.

5.3.3. Potencia del combustible (KW).

La potencia del combustible se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_c = \frac{HV * M_f}{3600}$$

$$M_f = C_h * \rho$$

Donde:

P_c = Potencia del combustible (KW)

HV = Valor calorífico del combustible kJ/Kg.

M_f = Flujo másico del combustible gr/hora

C_h = Consumo horario Litros/hora

ρ = Densidad del combustible Kg/Litro

Es la potencia total que se puede obtener al quemar el combustible en su totalidad, depende principalmente del valor calorífico del combustible y de su densidad; de esto se deriva la potencia indicada en cuanto el combustible es quemado dentro del cilindro motor.

La eficiencia de aprovechamiento en potencia mecánica máxima respecto a la potencia del combustible esta alrededor del 40% a esto se le llama **Potencia indicada.**

5.3.4. Potencia al freno P_b (KW).

Es la potencia que se tiene en la volante del motor, su valor es menor al de la potencia indicada, debido a que se le restan las potencias de perdida.

$$P_b = \frac{2\pi * T * N}{K_{rp}}$$

P_b = Potencia al freno Kw (Hp)

T = Torque motor Nm (lb ft)

N = RPM

K_{rp} = Constante 60000 (33000)

En la prueba se usó la ecuación siguiente para el cálculo de potencia eléctrica

$$P_E = V * I * n$$

Dónde:

P_E = Potencia eléctrica generada (Watts)

V = Voltaje generado (Voltios)

I = Energía eléctrica generada (Amperios)

n = Eficiencia

5.3.5 Torque.

Indica la fuerza torsional que es capaz de proporcionar un motor en su eje principal, Se obtiene a partir de la potencia rotatoria o potencia al freno.

5.3.6. Consumo horario.

Es la cantidad de combustible que consume el motor en un determinado tiempo.

$$Ch = 3.6 \frac{\Delta v}{t}$$

Dónde:

Ch: Consumo de combustible (L/h)

Δv : Volumen de consumo del motor (mL)

t: Tiempo del consumo del volumen (s)

5.3.7. Consumo específico.

Indica la cantidad de combustible que hay que consumir, para obtener una determinada potencia en kilo watts, durante una hora.

$$Ce = \frac{Mf}{P}$$

Dónde:

C: Consumo específico (Kg/kW-h)

Mf : Consumo másico de combustible (Kg/hora) = (Consumo horario por la densidad)

P: Potencia generada en (KW)

5.4. Combustibles fósiles y la contaminación ambiental.

Los combustibles fósiles han sido por cientos de años la principal fuente energética de la población a nivel mundial. Con la revolución industrial y tecnológica, y la aparición de máquinas cada vez más modernas el uso de combustibles fósiles como el carbón y el petróleo se ha ido incrementando en grandes cantidades. Este incremento ha tenido a su vez un gran impacto en el ambiente principalmente por la intensificación del efecto invernadero.

Gracias a estos gases la atmósfera absorbe radiación procedente del sol y de la tierra. Esta última, es muy importante ya que permite el balance energético de la atmósfera. Los gases que absorben la radiación de la tierra son conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), entre ellos se encuentran el dióxido de carbono, el vapor de agua, el óxido nitroso, el metano y el ozono. Estos gases ayudan a que la temperatura de la tierra se mantenga en niveles óptimos, sin ellos la tierra se encontraría en temperaturas tan bajas que impedirían el desarrollo de la vida en el planeta (Benavides y León 2007).

5.4.1. Gases emitidos por los motores de combustion interna.

Como resultado del proceso de combustión en el motor se producen gases, como: CO_2 , CO , NO_x , HC .

a.- Dióxido de carbono (CO_2).

El dióxido de carbono se produce principalmente por la combustión de combustibles fósiles como el carbón, petróleo y sus derivados, y gas natural. El dióxido de carbono es el gas más importante en el efecto invernadero y el segundo más importante en el calentamiento global, por lo que se utiliza como referencia base para medir el potencial del cambio climático.

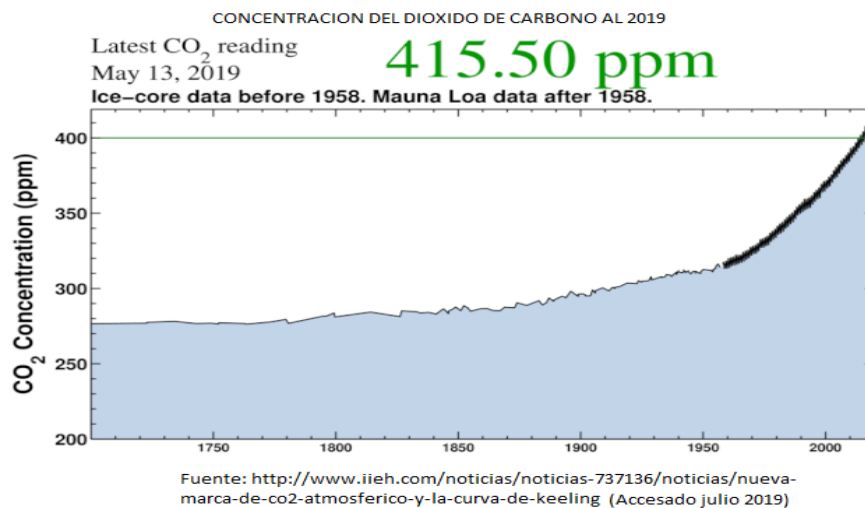


Figura 16: Concentración atmosférica del dióxido de carbono

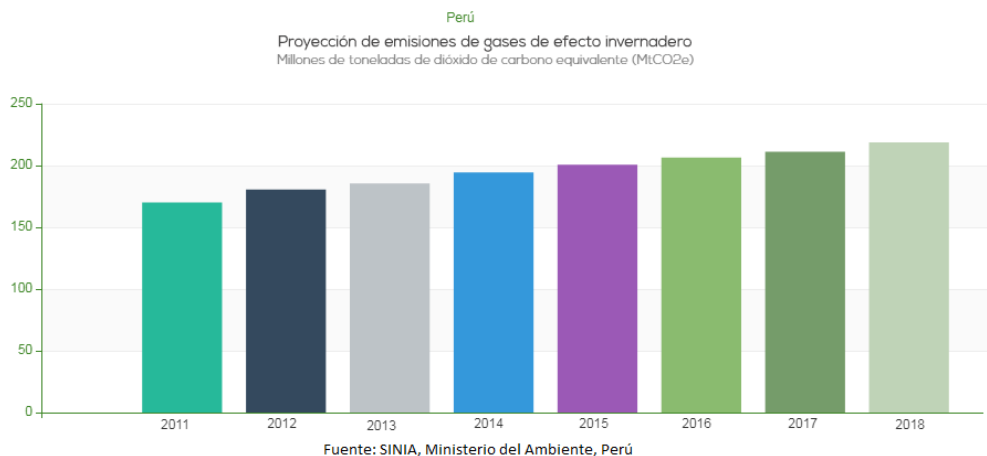


Figura 17: Proyección de emisión de CO_2 en Mte.

b.- Monóxido de carbono (CO).

El monóxido de carbono es un GEI indirecto, lo hace de forma indirecta al influir sobre los radicales hidroxilos. El CO es un gas característico de los motores, que se produce por la combustión indirecta del carbono. Las emisiones de CO a partir de fuentes móviles dependen de la eficiencia de la combustión, cuando las mezclas de aire y combustible contienen menos oxígeno que el requerido para la combustión completa, las emisiones de CO son más altas (Benavides y León 2007).

c.- Óxidos de nitrógeno (NO_x).

Los óxidos de nitrógeno son un conjunto de compuestos que se presentan en la tropósfera. Generalmente están compuestos por NO y NO₂; y al igual que el CO son considerados gases de efecto invernadero indirectos, porque contribuyen indirectamente en él a través de su influencia en el proceso de formación de ozono, así como, en la concentración de radical hidroxilo. La combustión en motores es la principal fuente de los óxidos de nitrógeno, presentando dos mecanismos de formación: el primero consiste en la formación de NO_x a partir de la conversión del nitrógeno ligado químicamente en el combustible; y el segundo a partir de la fijación del nitrógeno atmosférico (Benavides y León 2007).

d.- Hidrocarburos no quemados (HC).

Los hidrocarburos no quemados se producen en motores de vehículos, refinerías, transporte de combustibles y evaporación de procesos orgánicos. Su presencia puede originarse por la insuficiente evaporación del combustible, sobrealimentación de combustible, mala regulación de inyectores, entre otros.

5.5. Calentamiento global - Protocolo de Kioto

El protocolo de Kioto nace como resultado de la Convención del Cambio Climático el 11 de diciembre de 1997.

La Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático, busca impedir la interferencia del ser humano en el sistema climático a través de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). (<http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html> noviembre del 2018)

La Convención promueve el establecimiento de inventarios de emisiones de GEI, asignando como año base al año 1990. Estos inventarios permitirán determinar cuál viene siendo el avance en el cumplimiento de los objetivos respecto a la reducción de las emisiones.

Las metas del protocolo están referidas básicamente a la reducción de seis gases principales: el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre (SF₆).

5.6. Normas “EURO”

Las normas Euro son un conjunto de directrices europeas que surgieron en los años 90 con el objetivo de regular las emisiones de gases de combustión producidas por los vehículos nuevos.

Las normativas van desde la EURO 1 hasta la EURO 6, en números arábigos para vehículos ligeros y desde la EURO I hasta la EURO VI, en números romanos para vehículos pesados. La sucesión de los números implica límites más estrictos a medida que se van cumpliendo los anteriores.

En países de Europa, como España la norma que se aplica es la EURO 6 y EURO VI, para vehículos ligeros y pesados respectivamente.

En el Perú, se comenzó a exigir la EURO I a partir del año 2011 con la promulgación del D.S. 047-2001-MTC, “Límites máximos permisibles de emisiones para vehículos automotores que circulen en la red vial”; y actualmente se viene trabajando en la implementación de la EURO III y EURO IV.

El cuadro 2, muestra los límites de emisiones para contaminantes atmosféricos establecidos en la EURO III y EURO IV:

Cuadro 2: Limite de emisiones EURO III y IV

I.7. Vehículos con motores convencionales Diésel, incluyendo de inyección electrónica, recirculación de gases de escape y/o catalizadores de oxidación								
Vehículos de pasajeros o de carga > 3864 Kg PBV ⁽¹⁾								
Año aplicación (**)	Norma	Ciclo	Directiva	CO [g/kWh]	HC [g/kWh]	NOx [g/kWh]	PM [g/kWh]	Humo [m ³]
2017 a marzo 2018	EURO III o de mayor exigencia	ESC + ELR	1999/96/EC(A) ⁽³⁾	2,10	0,66	5,00	0,10 0,13 ⁽²⁾	0,80
Abril 2018 en adelante	EURO IV o de mayor exigencia	ESC + ELR	2005/55/EC(A) ⁽³⁾	1,50	0,46	3,50	0,02	0,50

(**) El año de aplicación se refiere a la fecha correspondiente al conocimiento de embarque, no a la fecha de incorporación al país.

Fuente: MINAM (2017)

5.7. Normas nacionales - contaminación ambiental

5.7.1. Estándar de Calidad Ambiental (ECA)

De acuerdo con el numeral 31.1 del artículo 31° de la Ley No. 28611, Ley General del Ambiente, se define al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

En el año 2017 mediante decreto supremo N° 003-2017-MINAM, se aprobaron los nuevos valores de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire. Estos valores se muestran en la tabla 2.

5.7.2. Límite Máximo Permisible (LMP)

De acuerdo con el artículo 64° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, D.S N° 008-2005-PCM, el Límite Máximo Permisible es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos; que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

Los Límites Máximos Permisibles (LMP) se establecen para diferentes sectores; para el sector de transporte se establecieron en octubre del 2001 mediante el Decreto Supremo N° 047-2001-MTC y su modificatoria el Decreto Supremo N° 009-2012-MINAM.

Cuadro 3: Estándares de calidad ambiental para el aire.

Parámetros	Período	Valor [µg/m ³]	Criterios de evaluación	Método de análisis ⁽¹⁾
Benceno (C ₆ H ₆)	Anual	2	Media aritmética anual	Cromatografía de gases
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	250	NE más de 7 veces al año	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200	NE más de 24 veces al año	Quimioluminiscencia (Método automático)
	Anual	100	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 2,5 micras (PM _{2,5})	24 horas	50	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material Particulado con diámetro menor a 10 micras (PM ₁₀)	24 horas	100	NE más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	
Mercurio Gaseoso Total (Hg) ⁽²⁾	24 horas	2	No exceder	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS) o Espectrometría de absorción atómica Zeeman. (Métodos automáticos)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora	30000	NE más de 1 vez al año	Infrarrojo no dispersivo (NDIR) (Método automático)
	8 horas	10000	Media aritmética móvil	
Ozono (O ₃)	8 horas	100	Máxima media diaria NE más de 24 veces al año	Fotometría de absorción ultravioleta (Método automático)
Plomo (Pb) en PM ₁₀	Mensual	1,5	NE más de 4 veces al año	Método para PM ₁₀ (Espectrofotometría de absorción atómica)
	Anual	0,5	Media aritmética de los valores mensuales	
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	150	Media aritmética	Fluorescencia ultravioleta (Método automático)

NE: No Exceder.

⁽¹⁾ o método equivalente aprobado.

⁽²⁾ El estándar de calidad ambiental para Mercurio Gaseoso Total entrará en vigencia al día siguiente de la publicación del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, de conformidad con lo establecido en la Séptima Disposición Complementaria Final del presente Decreto Supremo.

Fuente: MINAM 2017

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1. Materiales y Equipos

6.1.1. Equipos

Cuadro 4: Equipos para la prueba

Equipos	Características
Grupo electrógeno	Motor Generador diésel KIPOR Modelo KDE 3500E de 3.3kw. a 3600RPM 220 Volts 15 Amperios.
Banco de carga	Banco de carga resistiva de 4.0 kW.
Multímetro digital	CEM 9932FC
Medidor de flujo	Fabricación propia
Pinza perimétrica	FRASEK PR-54
Tacómetro digital	Monarch PLT 200
Medidor de CO	CEM CO-180
Analizador de gases, CO2	Testo 535
Opacímetro	AVL DISMOKE 4000

6.1.2. Consumibles

Combustible diésel comercial B5

Cuadro 5: Características del Diésel

Características	Valores
• Gravedad API° a 15°C	• 32.9
• Densidad a 15°C	• 0.8598
• Punto de inflamación	• 63.0
• Viscosidad cinemática a 40°C, cSt.	• 3.66
• Contenido de azufre, % Peso	• 0.50
• Índice de Cetano calculado	• 46.6
• Color	• 1.0

Fuente: Petroperú La Pampilla

Combustible: Biodiesel de pollo

Cuadro 6: Características del Biodiesel de pollo

Características	Valor
• Densidad	• 0.89
• Punto de inflamación	• 355
• Viscosidad cinemática a 40°C, mm ² /s.	• 5.08
• Inflamabilidad	• Positiva
• Rendimiento	• 90
• Carbono	• 68.455
• Hidrogeno	• 11.177
• Nitrógeno	• 0.071
• Oxígeno	• 13.915
• Azufre	• 0.053
• Poder Calorífico Sup. Cal/gr.	• 9456.53
• Poder Calorífico Inf. Cal/gr.	• 9445.50
• Poder calorífico sup kJ/kg. (39566.12)	• 39566.12
• Cetanaje. Mayor al diésel	• >46.6

Fuente: Laboratorio Energías Renovables UNALM (ver anexo 01)

6.1.3. Sistema para las pruebas

Consiste en un conjunto generador de 3500 vatios accionada por un motor de combustión interna de encendido por compresión, conectada a un generador síncrono con factor de potencia 0.7, conectada a un circuito de bombillas con una capacidad de 4000 vatios, complementada con un tanque externo con visor para medir consumo, medidores de gases, medidores de voltaje y amperaje.

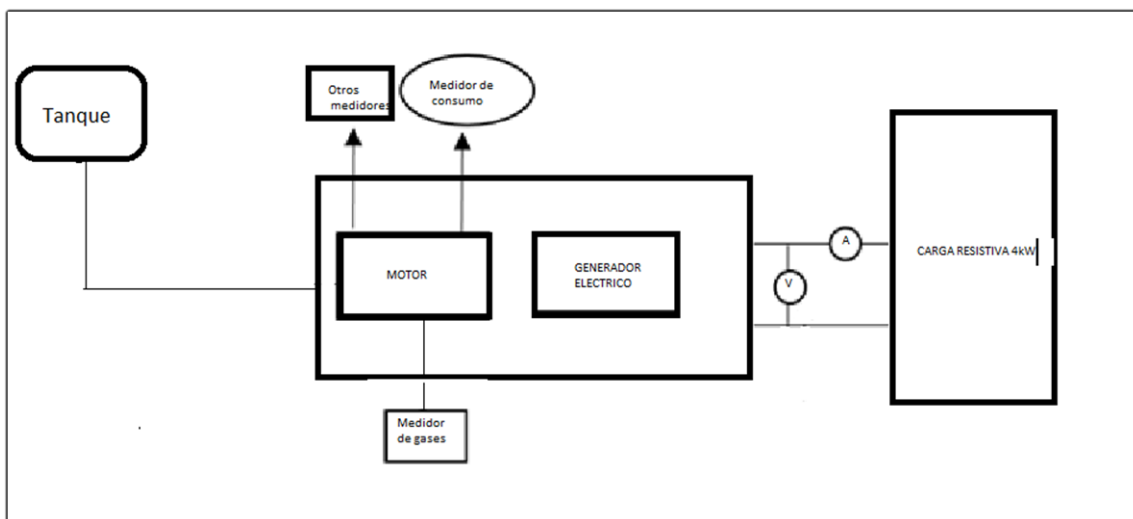


Figura 18: Esquema del sistema para pruebas

6.2. Métodos

6.2.1. Producción del biodiesel.

Producción de biodiesel a pequeña escala. - Se inicia con la extracción de la grasa animal por procesos de calentamiento extrayéndose aproximadamente 10 litros de aceite y una muestra de ella se usó para el análisis de acidez según (AOCS oficial Method Cd 3d-63) FAO, Codex Alimentarius Commission

http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCMAS/ccmas25/ma04_09e.pdf

El índice de acidez de un triglicérido es la acidez como consecuencia de la presencia de ácidos grasos libres. Se realiza la valoración con Hidróxido de potasio. El contenido de acidez se expresa como índice llamado índice de acidez (IA).

Mediante este análisis se determinará el IA del Aceite si este se encuentra con un valor no mayor a 5 se podrá trabajar sin problemas, valores de índice de acidez mayores a 5 no son recomendados para elaborar biodiesel por su elevado IA se recomienda el uso de este para otros productos.

6.2.1.1. Prueba de acidez del aceite de pollo

Para la prueba de acidez se pesaron 5 gramos de muestra, diluyéndolo con 50 mL de alcohol etílico neutralizado a 50 °C, Colocando luego en un matraz de Erlenmeyer, Adicionando unas gotas de fenolftaleína, Titular con solución de Hidróxido de potasio 0.1 N.

$$IA = \frac{V * N * 56.1}{g \text{ muestra}}$$

V: volumen de titulante gastado (ml)

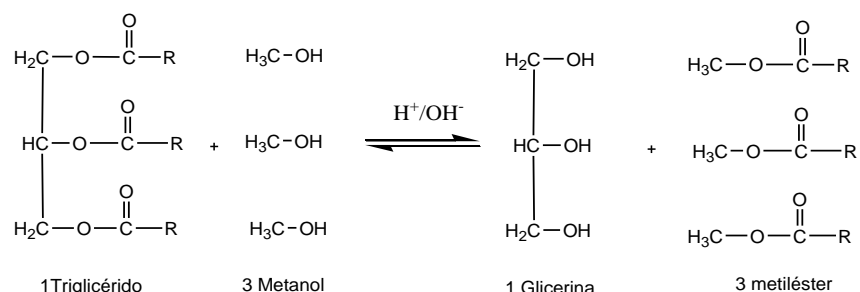
N: normalidad del KOH (0.1)

Cuadro 7: Datos de la titulación con KOH para calcular el IA de la grasa

Muestra	Masa de Muestra (gr.)	Volumen de gasto KOH (ml)	Normalidad del KOH	Índice de Acidez (mg KOH/ gr. grasa) IA
Grasa de pollo	5.0021	1.9	0.1	2.13
	5.0049	1.8	0.1	2.017
	5.0032	1.9	0.1	2.13

6.2.1.2. Transesterificación.

El Biodiesel es una mezcla de ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivado de lípidos renovables tales como aceites vegetales y animales y que se obtiene por proceso de transesterificación (proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol).



El procedimiento consistió en verter los diez litros aceite de pollo dentro de un recipiente luego se agregó metanol 20%(v/v) con relación a la cantidad de muestra. Se calculó la cantidad de catalizador adicionando un exceso dependiendo del índice de acidez. Esto fue el KOH (hidróxido de potasio): 8 gr. + IA* L muestra. Se mezcló el catalizador en el metanol (metóxido), se agregó la mezcla de metóxido a la muestra, se mezcló a T° 50-60°C durante 2 horas aprox. (proceso transesterificación, tabla 4), se decantó y separó la glicerina, se realizaron 3 a 4 lavados con agua (20-30%(v/v) con respecto al rendimiento de Biodiesel), separando el biodiesel purificado para luego secar y filtrar.

Cuadro 8: Datos del proceso de transesterificación de la grasa

Cantidad grasa a procesar (L)	10
Volumen de metanol (L)	2
Acidez de la muestra (mg KOH /gr. grasa)	2.1
Cantidad de catalizador a usar(gr)	56
Temperatura del proceso (°C)	55
Tiempo de agitación (Hr.)	1.5
Cantidad glicerina (gr)	2.0063
Cantidad biodiesel (L)	9.450
Rendimiento del proceso (%)	94.5

*

$$\text{Re ndim iento} = \frac{B}{A} \times 100$$

A: volumen de la grasa inicial (mL)

B: volumen del biodiesel (mL)

Purificación (con Agua)

Separar la glicerina del biodiesel, agregar 20 a 30 % de agua destilada en relación con la cantidad de biodiesel, agitar moderadamente por 3 min, reposar por 20 min. Aprox. o hasta total separación del agua. Repetir estos pasos por 3 a 4 veces hasta que el agua decantada este cristalino o traslucido. Retirar del biodiesel el agua del último lavado. Verter el biodiesel libre de agua en un vaso precipitado de 500 ml colocar el biodiesel en una plancha de calentamiento, calentar a 95 ° C hasta evaporar toda el agua, Enfriar, filtrar, envasar

Caracterización del biodiesel de pollo

El biodiesel fue caracterizado de acuerdo a estándares internacionales.

La viscosidad cinemática determinada basado en el ASTM D-445

El residuo de carbón ASTM D-189

Glicerol total y libre AOCS Ca 14-56

Contenido de humedad KARL FISCHER

Carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno ASTM D5291

Azufre ASTM D1552

Poder calorífico superior e inferior ASTM D240

6.2.2. Evaluación de las variables mecánicas.

Para ello se usó el sistema constituido por el grupo motor generador con paneles de carga de seis etapas, se tomaron medidas de RPM del motor, consumo de combustible, se midió el amperaje y voltaje variando la carga, tomando tres medidas por vez y se tabularon los promedios.

6.2.3. Cálculo de las variables relacionadas

Consumo de combustible, Cálculo de la potencia eléctrica generada, Calculo del Torque, Consumo específico. Estas se tabularon y se graficaron para el análisis respectivo.

6.2.4. Medición de los gases productos de la combustión (CO, CO₂).

Se tomaron tres medidas por cada variación de carga y variación de combustible, tabulándose luego los promedios para luego analizarlos.

VII. RESULTADOS Y ANALISIS

Estadísticamente con todos los datos se realizaron modelos lineales generales y mixtos, usando como factores el tipo de combustible y la carga. Para analizar el supuesto de los errores con distribución normal, de todas las variables medidas se analizó la normalidad usando la prueba de Shapiro-Francia (Shapiro & Francia, 1972) para cada parámetro (Ver anexo01)

7.1. En la prueba de potencia.

Cuadro 9: Resultados de la potencia desarrollada con diferentes mezclas de combustible

	POTENCIA (kW)					
carga(kW)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
DB5 + BDP0%	0.40	0.90	1.35	1.84	2.32	2.76
DB5 + BDP20%	0.39	0.91	1.33	1.82	2.30	2.77
DB5 + BDP40%	0.39	0.90	1.32	1.82	2.29	2.75
DB5 + BDP60%	0.39	0.90	1.32	1.82	2.29	2.75

El cuadro 9 muestra el promedio de potencias desarrolladas por el motor operando a una velocidad fija de 3600 RPM, con 6 cargas variables incrementadas en 0.5kw por etapa, para cada tipo de mezcla de combustible, y tomando como línea base la potencia desarrollada por la mezcla DB5 + BDP0%; en ella podemos observar que la potencia resultante para cada tipo de mezcla difiere con respecto a esta en 0.01kw en promedio, por lo que en esta característica de operación del MCI no hay diferencia considerable con respecto a la potencia base.

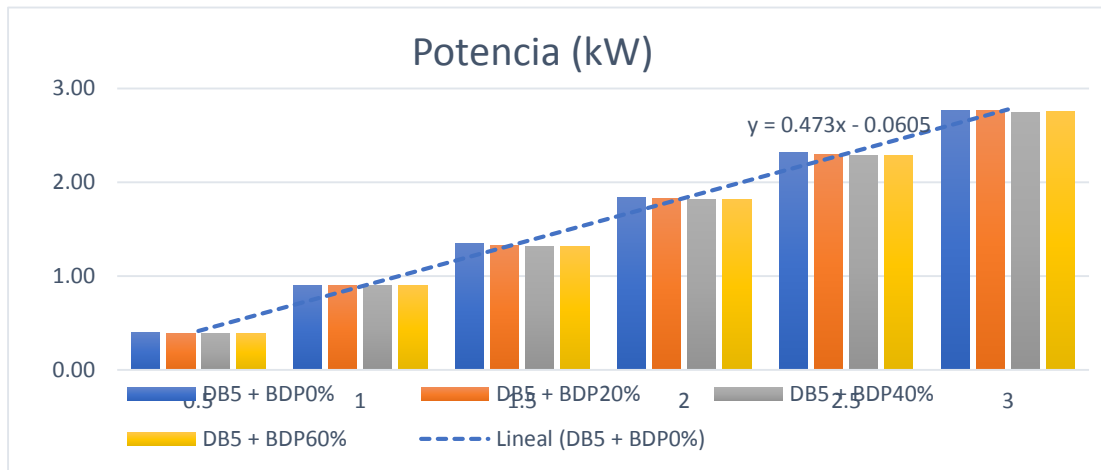


Figura 19: grafica de la potencia desarrollada por las mezclas

La grafica 19 nos muestra que para cada carga impuesta al motor, y diferentes mezclas la potencia no varía con respecto a la potencia considerada como base (DB5+BDP0%).

Así mismo la potencia va creciendo a medida que se va aumentando la carga la que nos demuestra la línea característica típica de los MCI (Figura 14).

7.2. En la prueba de Torque.

Cuadro 10: Resultados del Torque desarrollado con diferentes mezclas de combustible

carga(kW)	TORQUE (N-m)					
	0.5	1	1.5	2	2.5	3
DB5 + BDP0%	1.06	2.39	3.58	4.89	6.15	7.33
DB5 + BDP20%	1.03	2.40	3.52	4.84	6.11	7.35
DB5 + BDP40%	1.03	2.40	3.52	4.84	6.11	7.35
DB5 + BDP60%	1.02	2.39	3.50	4.83	6.07	7.30

En el cuadro 10 se observa que los valores del torque motor son prácticamente iguales por cada grupo de carga y para cada tipo de mezcla, mostrando una tendencia de incremento prácticamente lineal conforme va aumentando la carga.

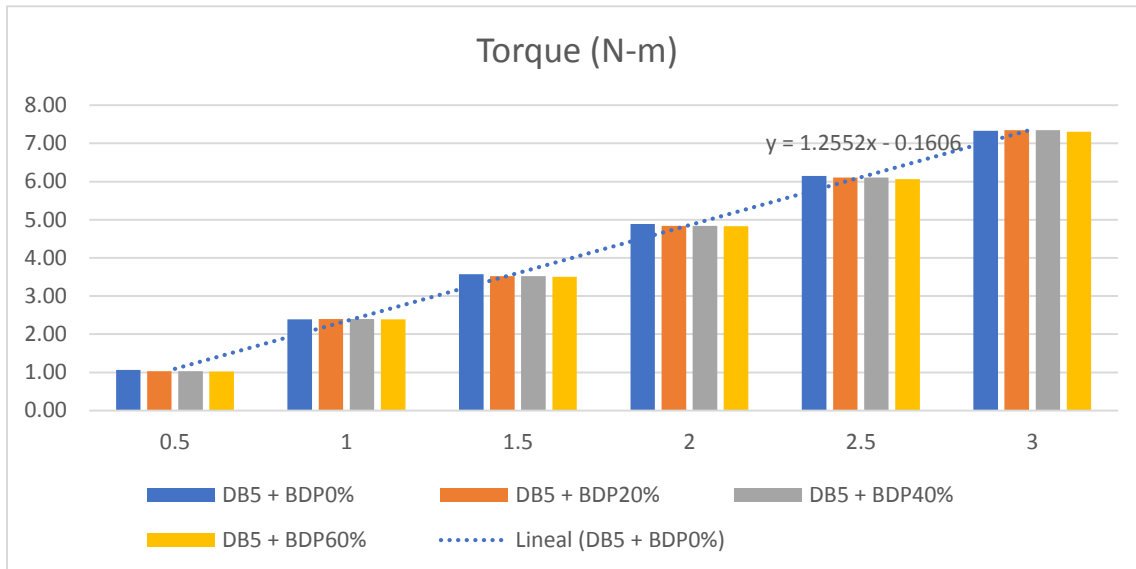


Figura 20: grafica del Torque desarrollado con diferentes mezclas de combustible

La grafica nos muestra que los tipos de combustible no influyen sobre el resultado del torque motor, este corresponde a cada carga impuesta al motor. Y su tendencia es la de crecer mientras crece la carga impuesta tal como se muestra con la línea de tendencia.

7.3. En la prueba de Consumo horario en MCI.

Cuadro 11: Resultados del consumo horario con diferentes mezclas de combustible

CONSUMO HORARIO (L/h)						
carga(kW)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
DB5 + BDP0%	0.52	0.57	0.62	0.83	1.04	1.25
DB5 + BDP20%	0.62	0.73	0.94	0.94	1.14	1.25
DB5 + BDP40%	0.62	0.73	0.94	0.94	1.14	1.25
DB5 + BDP60%	0.42	0.62	0.94	0.94	1.35	1.56

Los resultados del cuadro 11 nos muestran que en el caso del combustible comercial el consumo horario es menor comparado al consumo con las mezclas casi en toda la gama de carga a excepción de la carga de 3kw. Este mayor consumo en lo que se refiere a mezcla de combustible comercial con el biodiesel de pollo se debe a una suerte de compensación debido al menor Valor calorífico del biodiesel comparado con el diésel comercial. Notándose más pronunciado el incremento entre los 1.5kw y 2.5kw.

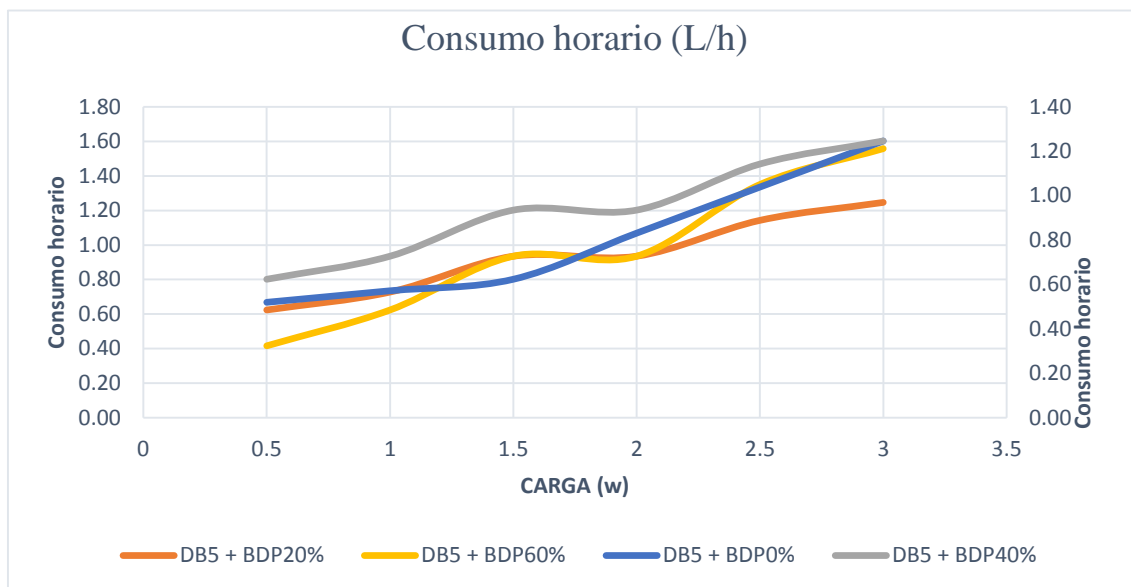


Figura 21: Curvas del Consumo horario con diferentes mezclas de combustible

El grafico nos muestra la tendencia que la curva de consumo horario tiene con cualquiera de la mezcla usada en función a las cargas, ajustándose a la característica esperada.

El mínimo consumo horario se da con la mezcla biodiesel al 60% entre 500 y 1000 watts de carga, así mismo se observa que en el rango de carga entre 1000 y 2500 watts el consumo es más bajo para todo tipo de combustible.

7.4. En la prueba de Consumo específico.

Cuadro 12: Resultados del consumo específico con diferentes mezclas de combustible

CONSUMO ESPECIFICO (kg/kW-h)						
carga(kW)	0.5	1	1.5	2	2.5	3
DB5 + BDP0%	1.08	0.53	0.38	0.37	0.37	0.37
DB5 + BDP20%	1.34	0.68	0.59	0.43	0.42	0.38
DB5 + BDP40%	1.15	0.59	0.54	0.49	0.43	0.39
DB5 + BDP60%	0.95	0.61	0.62	0.45	0.52	0.50

En primer término, las tendencias de las curvas de consumo específico son de características similares al de la figura 14, con el incremento de carga o sea con el incremento de potencia, el consumo especificado en función de la potencia desarrollada y el tiempo disminuye cuanto más se va acercando a la potencia nominal del motor. Eso se visualiza en la Figura 19

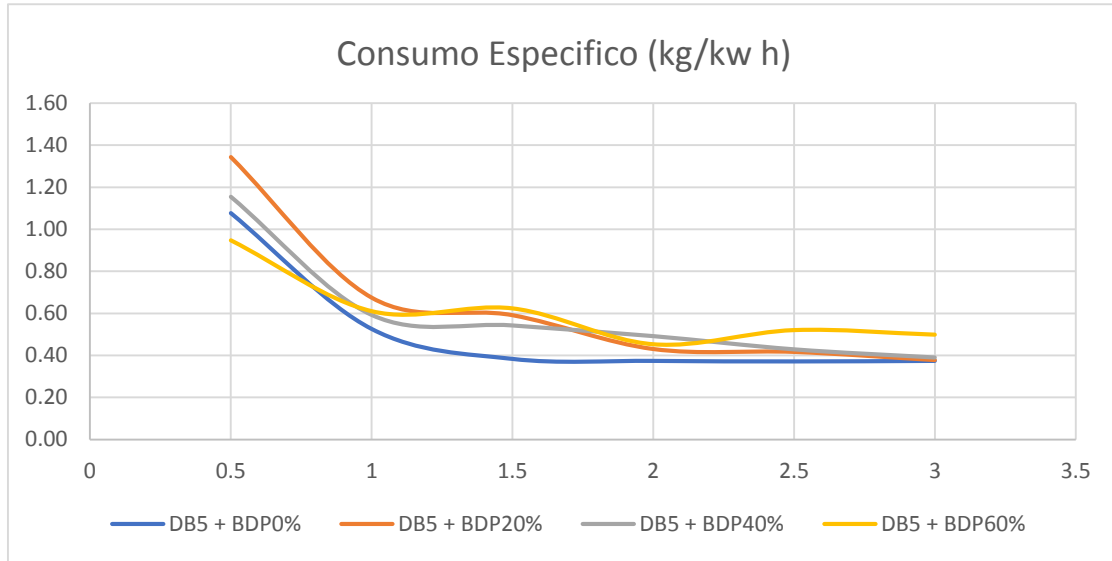


Figura 22 : Curvas del Consumo especifico con diferentes mezclas de combustible

7.5. En la prueba de Emisión de CO.

Cuadro 13: Resultados de la emisión de CO con diferentes mezclas de combustible

Monóxido de Carbono (CO ppm)						
carga(W)	500	1000	1500	2000	2500	3000
DB5 + BDP0%	38,33	49,33	32,00	21,67	25,67	60,33
DB5 + BDP20%	49,00	37,33	25,33	21,67	18,67	34,33
DB5 + BDP40%	41,33	27,33	24,00	19,00	22,00	33,00
DB5 + BDP60%	30,00	31,00	22,33	22,67	24,67	44,67

El cuadro nos muestra que los valores de las emisiones tanto en baja carga o alta carga cercana a la potencia máxima incrementan su emisión de CO, según la teoría la escasez de oxígeno produce el incremento de CO, quiere decir que en la operación por debajo de los 1500 watts y por encima de los 2500 watts la riqueza del combustible es mayor a la relación que debería tener la mezcla aire combustible.

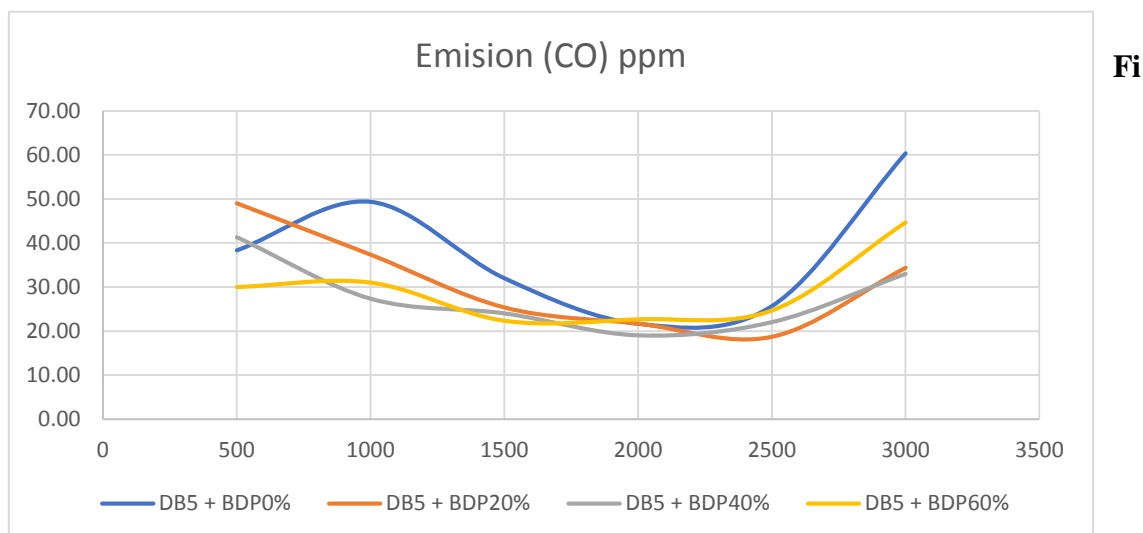


Figura 23: Curvas de la emisión de CO con diferentes mezclas de combustible

En el grafico podemos observar que el rango de operación entre los 1500 watts a 2500 watts la emisión de CO es menor para cualquier tipo de mezcla además siendo la mezcla con el biodiesel tener emisiones menores al diésel comercial, vale decir menor contaminación atmosférica.

7.6. En la prueba de Emisión de CO2.

Cuadro 14: Resultados del consumo específico con diferentes mezclas de combustible

Dióxido de Carbono (CO2 ppm)						
carga(W)	500	1000	1500	2000	2500	3000
DB5 + BDP0%	1758,33	2377,00	2914,33	2470,00	3250,00	4127,67
DB5 + BDP20%	1824,67	2426,67	2610,33	2607,00	3121,00	3047,00
DB5 + BDP40%	1746,33	2309,33	2197,67	2740,33	3054,33	3121,00
DB5 + BDP60%	1485,67	1717,67	2018,33	2535,00	2532,33	3312,33

De los datos mostrados en el cuadro 14, se observa que la emisión de CO2 se incrementa proporcionalmente al aumento de la carga desde 1758.33ppm a 500watts hasta 4127.67ppm a 3000 watts. Con el combustible comercial.

En el caso del combustible mezclado con el biodiesel de pollo estas cifras bajan considerablemente 1485,67ppm a 500watts y 3312.33ppm a 300watts. Aproximadamente una reducción del 20% al 25% en la emisión de CO2 en general.

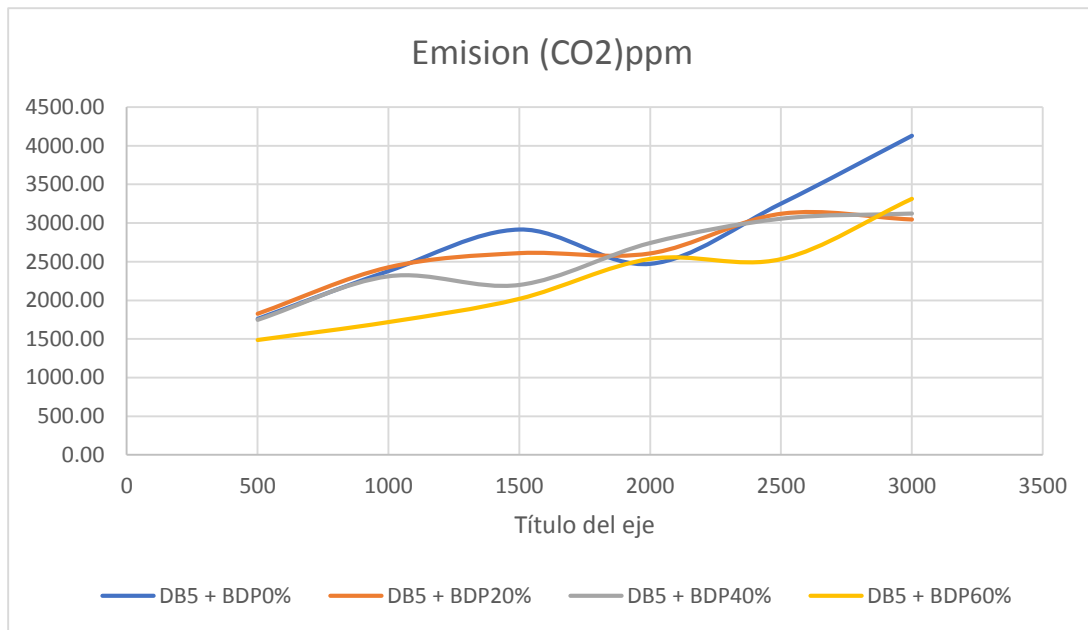


Figura 24: Curvas de la emisión de CO2 con diferentes mezclas de combustible

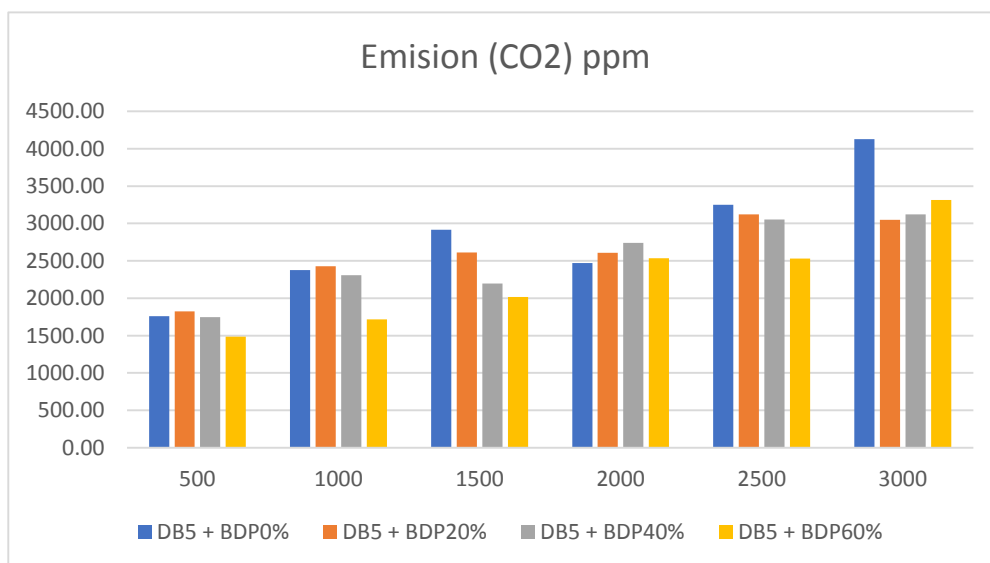


Figura 25: grafica de la emisión de CO2 con diferentes mezclas de combustible

En el grafico podemos observar que la emisión de CO2 para cada carga a la que se somete al motor con el combustible comercial (en azul) es el que emite mayor proporción de CO2 en general y la mezcla del 60% de BDP es la que emite la menor proporción, vale aclarar que el combustible comercial ya tiene un 5% de biodiesel por norma, por lo que se puede asegurar que la mezcla de biodiesel en el diésel reduce considerablemente la emisión de este gas de efecto invernadero.

VIII CONCLUSIONES

1. La grasa de pollo representa una importante fuente de insumo para ser usado en la producción de biodiesel por la gran cantidad de consumo a nivel nacional y mundial.
2. El biodiesel obtenido de la grasa de pollo se convierte en una fuente muy importante de energía siendo un combustible renovable de tercera o cuarta generación que no afecta a la seguridad alimentaria.
3. El uso de la grasa de pollo como materia prima para el biodiesel libera en más del 20% el ambiente de gases tóxicos o de efecto invernadero.
4. Los subproductos de la producción de biodiesel como es el caso de la glicerina puede ser aprovechado en múltiples usos entre ellas los cosméticos, los lubricantes, los detergentes y otros.
5. La capacidad energética del biodiesel de pollo es ligeramente inferior al del diésel comercial en un ocho por ciento (Biodiesel 39566.12 kJ/kg, Diésel comercial 43000kJ/kg).
6. El índice de acidez (2.13) de la grasa de pollo, garantiza un alto grado de transesterificación, y un rendimiento del 96 por ciento respecto a la obtención de biodiesel desde la grasa de pollo.
7. Los efectos mecánicos desarrollados por el MCI con el uso del biodiesel mezclado en porcentajes al 20, 40, 60 por ciento son similares a los del diésel comercial con una pequeña disminución de potencia debido a que el poder calorífico del BDP es 8% menos que al diésel comercial.

8. Los efectos ambientales marcan una notable diferencia frente al diésel comercial disminuyendo la producción de gases de efecto invernadero en más del 20% con respecto al diésel comercial, contribuyendo de esa manera a disminuir el calentamiento global.

IX RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir investigando en este tema, con diversas fuentes de grasa,
- Se recomienda realizar estudios de mercado para ver la forma más eficiente de obtener esta materia prima dado que el consumo per cápita en el Perú está alrededor de 38.2 kg/per cápita.
- Se recomienda dirigir la mirada a las micro algas como fuente de materia prima para el biodiesel

X REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alptekin, E. and Canacki, M. 2011. Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat. *Fuel* v.90: 2630–2638.

Agencia internacional de energía. 2015. <https://www.iea.org/weo/>

Agencia internacional de energía. 2017. <https://www.iea.org/weo/>

Agencia internacional de energía. 2018. <https://www.iea.org/weo/>

Ashraful AM, Masjuki HH, Kalam MA, Rizwanul IM, Imtenan S, Shair SA, Mobarak HM. 2014. Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: a review. *Energy Convers Manag* 2014;80(0):202–28. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.037>.

Azcarate, B. y Mingorance, A. 2002. Energías e impacto ambiental. Editorial Sirius. España. 290 p.

Benavides, H. y León, G. 2007. IDEAM–METEO/008-2007. *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) Subdirección de Meteorología. Nota Técnica del IDEAM. Colombia. 102 p.

British Petroleum. 2016. Informe estadístico mundial de energía. <http://www.bp.com>.

British Petroleum. 2018. Informe estadístico mundial de energía. <http://www.bp.com>.
Accesado noviembre del 2018.

Chris Greenwell (2009), Placing microalgae on the biofuels priority list: A review of the technological challenges: Review. *Journal of The Royal Society Interface* 7(46):703-26 · May 2010 with 763 Reads

Di Renzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., & Robledo, C., W. (2008). Infostat, versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 1, 84-144

<https://doi.org/10.1203/00006450-199904020-00234>

Escobar, R., Gamio, P., Moreno, A., Castro A., Cordero, V., Vásquez, U. 2016. *Energización rural mediante el uso de energías renovables para fomentar un desarrollo integral y sostenible*. GIZ. Lima, Perú. Fernández, J.M. 2010. *Guía completa de la biomasa y los combustibles*. Antonio Madrid Vicente (Ed) España.309 p.

Gamio, P. y Eisman, J. 2016. *Documento de política: Acceso universal a energía y tecnologías renovables*. Consorcio de Investigación Económica y Social, Lima, Perú. 29 p.

Garrido, A. 2009. La energía como elemento esencial de desarrollo.

Gilardi, J. 1985. *Motores de combustión interna*. IICA, San José. 135 p.

International Energy Agency. 2017. *World Energy Outlook 2017*. 782 p.

MINAM. 2017. www.minam.gob.pe 2017. Lima, Perú.

Ministerio de Energía y Minas. 2014. *Plan energético nacional 2014 – 2025*. Lima, Perú.

OECD (2018). Meat consumption (indicator). Doi: 10.1787/fa290fd0-en (Accessed on 26 October 2018)

Pulla, E., Sans, R. 2013. *El colapso es evitable: la transición energética del siglo XXI*. Barcelona, España. 259 p.

Rafael, M. y Hernández, A. 2014. *Caracterización de un motor de combustión interna con dos tipos de combustible*. Instituto Mexicano del Transporte. Secretaria de Comunicaciones y Transporte, Publicación Técnica No. 417. México. 67 p.

Rasim Behcet. 2015. Evaluation as Fuel Diesel Engine of Methyl Esters Derived from Waste Animal Fats Volume: 33 issue: 2, page(s): 227-242 Article first published online: April 1, 2015; Issue published: April 1, 2015 Received: November 01, 2014; Accepted: February 26, 2015

Shapiro, S.S. & Francia, R.S. (1972). An approximate analysis of variance test for normality. Journal of the MERICAN Statistical Association. Journal of the American Statistical Association.

Shi, W., Li, J., He B., Yan, F., Cui, Z., Wua, K., Lin, L., Qian, X., Cheng, Y. (2013). Biodiesel production from waste chicken fat with low free fatty acids by an integrated catalytic process of composite membrane and sodium methoxide," *Bioresource Technology*, v.139:316-322

UNDP (2018). <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html> Accesado diciembre 2018.

United Nations. (2018). en <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/climate-change/index.html> Accesado noviembre del 2018.

Wan Ghazali, W.N.M., Mamat, R., Masjuki, H. and Najafi, G. (2015). Effects of biodiesel from different feedstocks on engine performance and emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.51:585-602.

World Energy, Technology and Climate Outlook 2004. Informe comisión europea 2004
http://www.fao.org/tempref/codex/Meetings/CCMAS/ccmas25/ma04_09e.pdf Accesado julio 2019

XI ANEXOS

ANEXO 1: Reporte de Análisis de Biodiesel



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
LABORATORIO DE ENERGÍAS RENOVABLES
Planta de Investigación Biodiesel

REPORTE DE ANÁLISIS DE BIODIESEL
LER - BIODIESEL 036-2019

I. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

Nombre : Ing. Juvenal García Armas
Dirección : UNALM - Lima
Fecha de Recepción : 01 / 03 / 2019
Fecha de Entrega : 07 / 05 / 2019

II. DATOS DE LAS MUESTRAS

Producto (Nombre genérico) : Biodiesel
Identificación : UBE-(02/2019)-0046
Número de muestras : 01
Presentación : Botella de plástico
Cantidad (peso/ volumen) : 0.500 L.

III. RESULTADOS

N°	TIPO DE ANÁLISIS	NORMA / MÉTODO	RESULTADOS	UNIDADES
1	Viscosidad Cinemática a 40°C	ASTM D-445	5.08	mm ² /s
2	Residuo de Carbón Conradson	ASTM D-189	0.06	% (m/m)
4	Glicerol (Total)	AOCS Ca 14-56	0.34	% (m/m)
5	Glicerol (Libre)		0.01	% (m/m)
5	Contenido de Humedad	Karl Fischer	0.12	% (m/m)
6	Carbono	ASTM D5291	68.455	% (m/m)
7	Hidrógeno		11.177	% (m/m)
8	Nitrógeno		0.071	% (m/m)
9	Oxígeno		13.915	% (m/m)
10	Azufre	ASTM D1552	0.053	% (m/m)
11	Poder Calórico Superior (PCS)	ASTM D 240	9456.53	Cal/g
12	Poder Calórico Inferior (PCI) ⁽¹⁾		9445.50	Cal/g

(1) Poder Calórico Inferior (PCI) se determina con el resultado del Contenido de Humedad de la muestra.



José Calle Maraví, Ph. D.
Jefe del Laboratorio de Energías
Renovables

ANEXO 2: Pruebas estadísticas de errores y varianzas

Se realizaron modelos lineales generales y mixtos, usando como factores el tipo de combustible y la carga. Para analizar el supuesto de los errores con distribución normal, de todas las variables medidas se analizó la normalidad usando la prueba de Shapiro-Francia (Shapiro & Francia, 1972). Para analizar el supuesto de homogeneidad de varianzas, se usó un gráfico de dispersión de residuos versus valores predichos se debe observar una nube de puntos sin patrón alguno (patrón aleatorio) (Di Rienzo et al., 2008).

Se usó el programa Infostat 2018 (software libre).

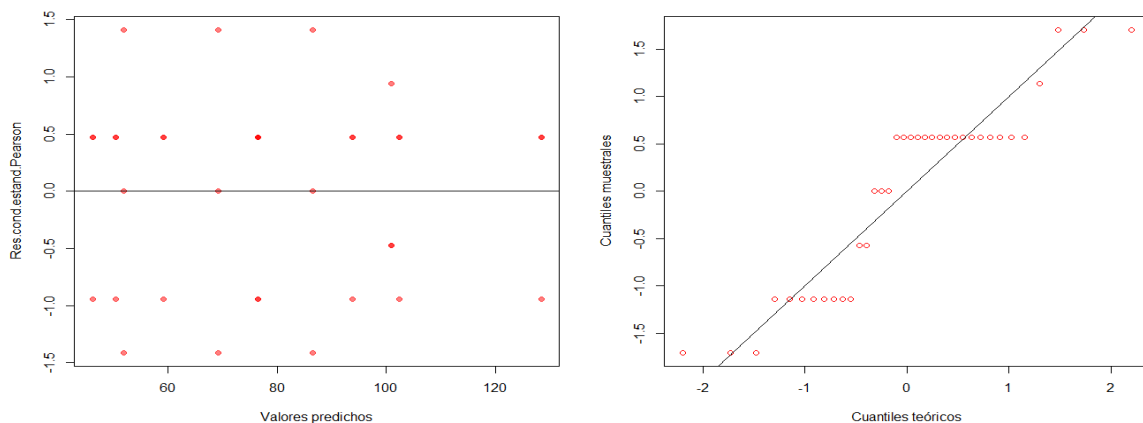
Para este caso se usó f1: Como tipo de combustible, f2: Como la carga

Los resultados se evaluaron por parámetros:

Consumo de combustible

Para esta variable se cumple ambos supuestos: Homogeneidad de varianzas y la Distribución normal de los errores

Grafica de la homogeneidad de varianzas según Shapiro- Francia



Variable dependiente: *Consumo.de.combustible.cm3*

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	23689.39	<0.0001
f1	3	25.54	<0.0001
f2	2	951.72	<0.0001
f1:f2	6	36.76	<0.0001

Como p-value <0.05

entonces se rechaza H_p (No existe interacción).

Luego: existe interacción entre ambos factores

Consumo.de.combustible.cm3 - Medias ajustadas y errores estándares para f1*f2

LSD Fisher (Alfa=0.05)

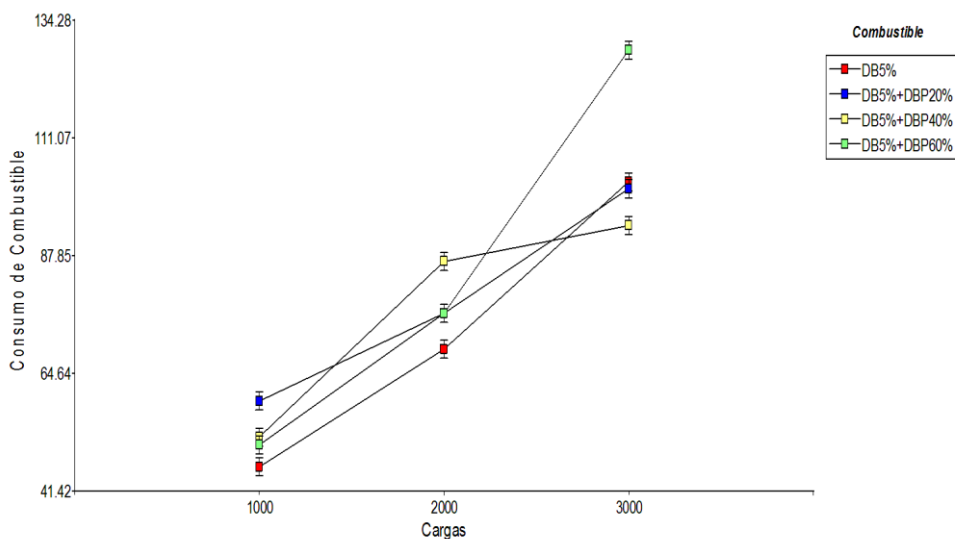
Procedimiento de corrección de p-valores: No

f1	f2	Medias	E.E.	
(DB5%+DBP60%)	3000	128.44	1.77	A
(DB5%)	3000	102.46	1.77	B
(DB5%+DBP20%)	3000	101.02	1.77	B
(DB5%+DBP40%)	3000	93.81	1.77	C
(DB5%+DBP40%)	2000	86.59	1.77	D
(DB5%+DBP60%)	2000	76.49	1.77	E
(DB5%+DBP20%)	2000	76.49	1.77	E
(DB5%)	2000	69.27	1.77	F
(DB5%+DBP20%)	1000	59.17	1.77	G
(DB5%+DBP40%)	1000	51.95	1.77	H
(DB5%+DBP60%)	1000	50.51	1.77	H I
(DB5%)	1000	46.18	1.77	I

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El consumo de combustible se visualiza con tendencia ascendente conforme aumenta la carga tanto para el diésel comercial como para las otras mezclas, confirmando comportamiento normal solo con un incremento de consumo con respecto al biodiesel comercial. Como se manifiesta en la figura 24

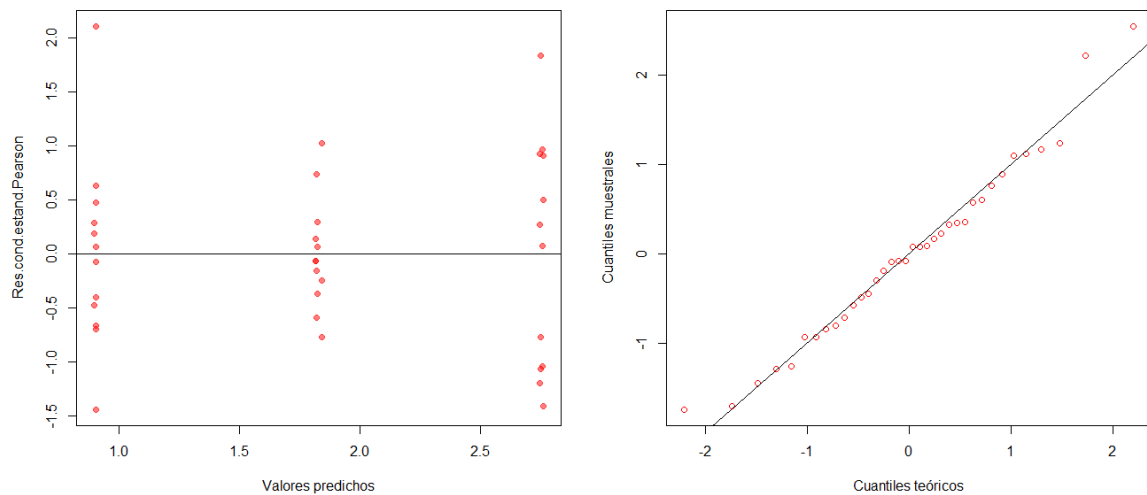
Grafica de la característica consumo de combustible con diferentes mezclas



Potencia

Para esta variable se cumple ambos supuestos: Homogeneidad de varianzas, y Distribución normal de los errores

Figura 25: grafica de la homogeneidad de varianzas para la potencia según Shapiro-Francia



Resultados para el modelo: mlm. modelo.007_Potencia.kW_REML

Variable dependiente: Potencia. KW

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	10060723.28	<0.0001
f1	3	29.10	<0.0001
f2	2	860617.29	<0.0001
f1:f2	6	8.13	0.0001

Como p-value<0.05

se rechaza H_0 (No existe interacción).

Existe interacción entre ambos factores

Potencia.kW - Medias ajustadas y errores estándares para f1*f2

LSD Fisher (Alfa=0.05)

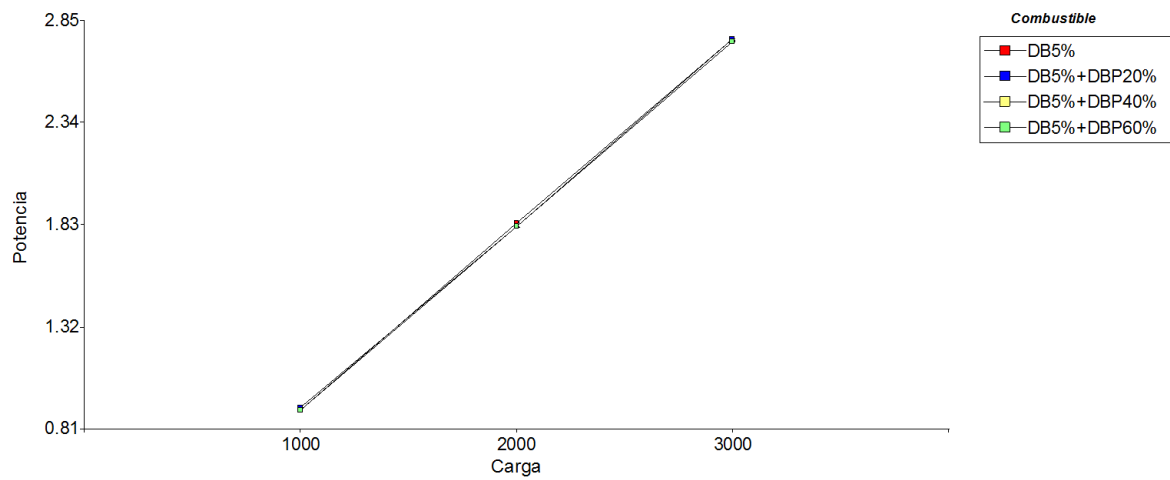
Procedimiento de corrección de p-valores: No

f1	f2	Medias	E.E.				
(DB5%)	3000	2.76	2.0E-03	A			
(DB5%+DBP20%)	3000	2.76	2.0E-03	A			
(DB5%+DBP60%)	3000	2.75	2.0E-03		B		
(DB5%+DBP40%)	3000	2.75	2.0E-03		B		
(DB5%)	2000	1.84	2.0E-03			C	
(DB5%+DBP20%)	2000	1.82	2.0E-03			D	
(DB5%+DBP60%)	2000	1.82	2.0E-03			D	E
(DB5%+DBP40%)	2000	1.82	2.0E-03				E
(DB5%+DBP20%)	1000	0.91	2.0E-03				F
(DB5%+DBP40%)	1000	0.90	2.0E-03				F G
(DB5%)	1000	0.90	2.0E-03				F G
(DB5%+DBP60%)	1000	0.90	2.0E-03				G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La menor potencia se obtiene con una carga de 1000, con cualquier tipo de combustible.
 La máxima potencia se obtiene con una carga de 3000, con cualquier tipo de combustible
 La importancia radica en que las potencias desarrolladas no difieren considerablemente.

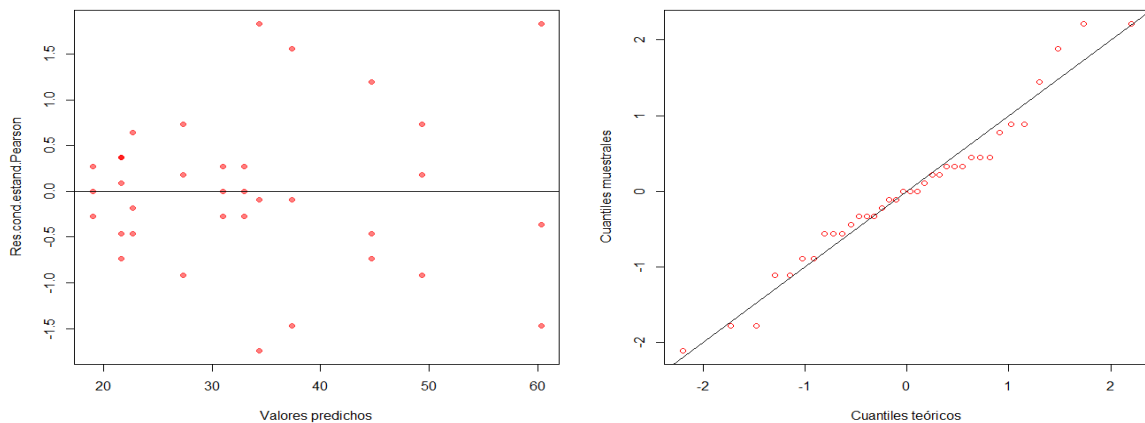
Grafica de la característica referida a la potencia desarrollada por el motor.



Emisión CO

Para esta variable se cumple ambos supuestos: Homogeneidad de varianzas, y Distribución normal de los errores

Grafica de la homogeneidad de varianza para el CO



Resultados para el modelo: `mlm.modelo.008_Emision.CO_REML`

Variable dependiente: *Emision.CO*

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	3073.52	<0.0001
f1	3	36.83	<0.0001
f2	2	113.68	<0.0001
f1:f2	6	10.64	<0.0001

Como p -valúe < 0.05 , se rechaza H_0 (No existe interacción). Existe interacción entre ambos factores

Emission.CO - Medias ajustadas y errores estándares para $f1*f2$

LSD Fisher (Alfa=0.05)

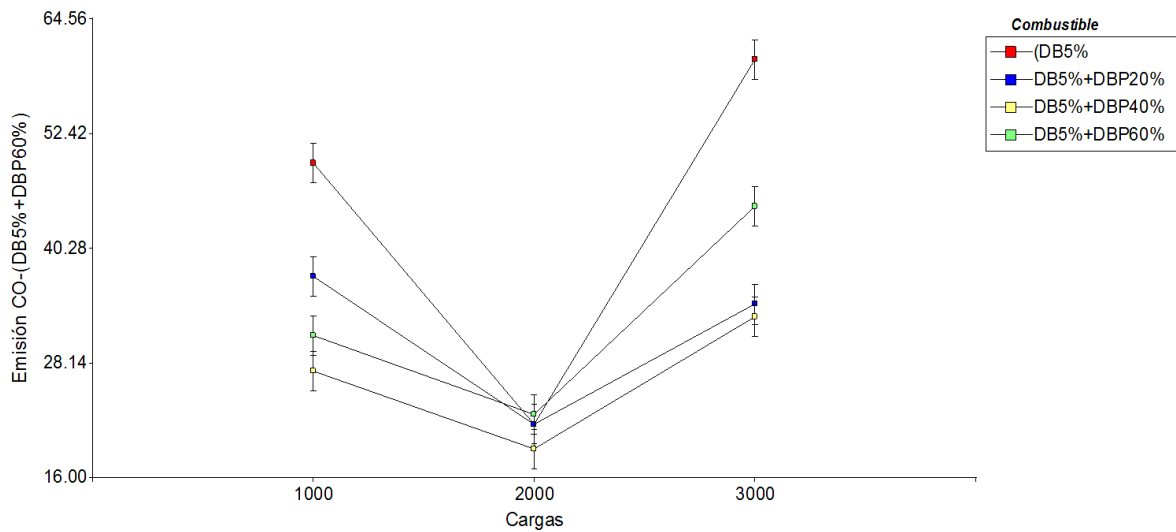
Procedimiento de corrección de p -valores: No

f1	f2	Medias	E.E.	
(DB5%)	3000	60.33	2.09	A
(DB5%)	1000	49.33	2.09	B
(DB5%+DBP60%)	3000	44.67	2.09	B
(DB5%+DBP20%)	1000	37.33	2.09	C
(DB5%+DBP20%)	3000	34.33	2.09	C D
(DB5%+DBP40%)	3000	33.00	2.09	C D E
(DB5%+DBP60%)	1000	31.00	2.09	D E
(DB5%+DBP40%)	1000	27.33	2.09	E F
(DB5%+DBP60%)	2000	22.67	2.09	F G
(DB5%+DBP20%)	2000	21.67	2.09	F G
(DB5%)	2000	21.67	2.09	F G
(DB5%+DBP40%)	2000	19.00	2.09	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La menor emisión de CO se logra con una carga de 2000 con cualquier tipo de combustible. La máxima emisión de CO se logra con una carga de 3000 con DB5%.

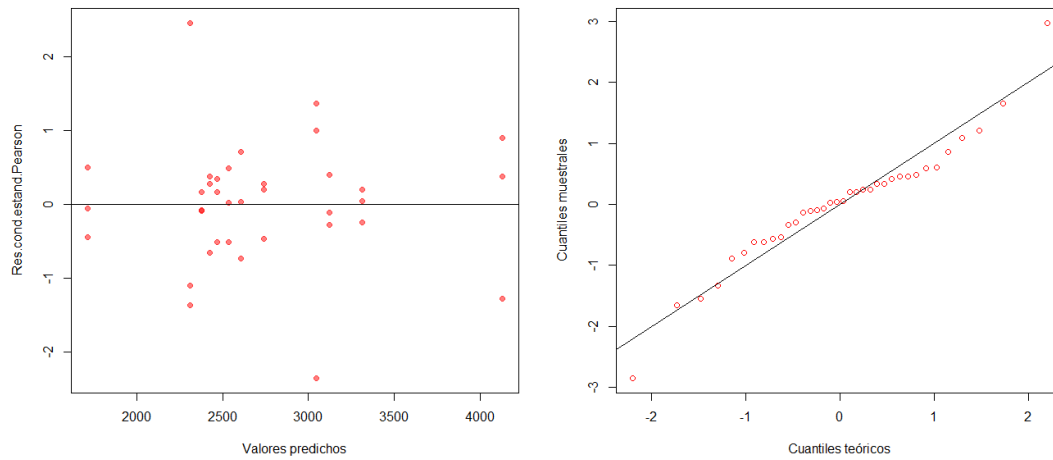
Grafica de la emisión de CO con diferentes mezclas de combustible



Emisión CO2

Para esta variable se cumple ambos supuestos: Homogeneidad de varianzas, y Distribución normal de los errores

Grafica de la homogeneidad de varianzas para el CO2



Resultados para el modelo: `mlm.modelo.009_Emision.CO2_REML`

Variable dependiente: `Emision.CO2`

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	4947.65	<0.0001
f1	3	6.25	0.0027
f2	2	82.22	<0.0001
f1:f2	6	7.06	0.0002

Como $p\text{-value} < 0.05$, se rechaza H_0 (No existe interacción). Existe interacción entre ambos factores

Emision.CO2 - Medias ajustadas y errores estándares para f1*f2

LSD Fisher (Alfa=0.05)

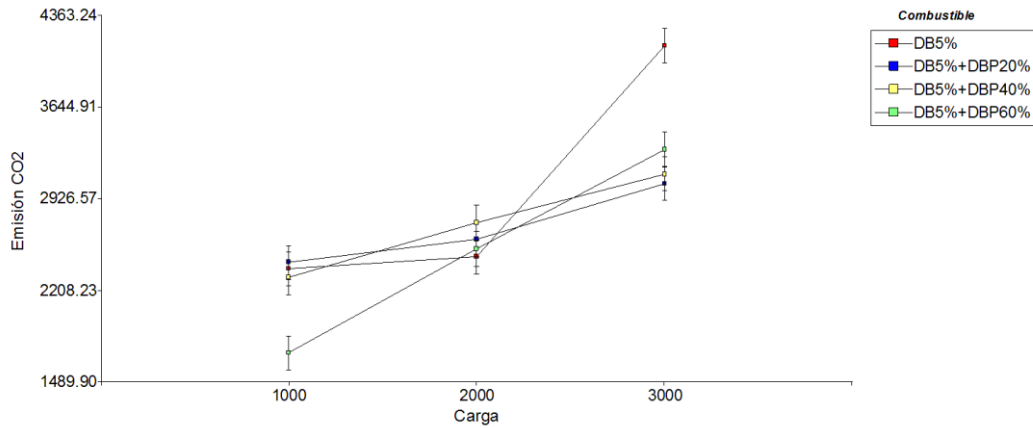
Procedimiento de corrección de p-valores: No

f1	f2	Medias	E.E.	
(DB5%)	3000	4127.67	134.58	A
(DB5%+DBP60%)	3000	3312.33	134.58	B
(DB5%+DBP40%)	3000	3121.00	134.58	B C
(DB5%+DBP20%)	3000	3047.00	134.58	B C
(DB5%+DBP40%)	2000	2740.33	134.58	C D
(DB5%+DBP20%)	2000	2607.00	134.58	D E
(DB5%+DBP60%)	2000	2535.00	134.58	D E
(DB5%)	2000	2470.00	134.58	D E
(DB5%+DBP20%)	1000	2426.67	134.58	D E
(DB5%)	1000	2377.00	134.58	D E
(DB5%+DBP40%)	1000	2309.33	134.58	E
(DB5%+DBP60%)	1000	1717.67	134.58	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La menor emisión de CO₂ se logra con una carga de 1000 con DB5+DBP60, y en general las mezclas de biodiesel reportan menor emisión de CO₂ comparada con el diésel comercial.

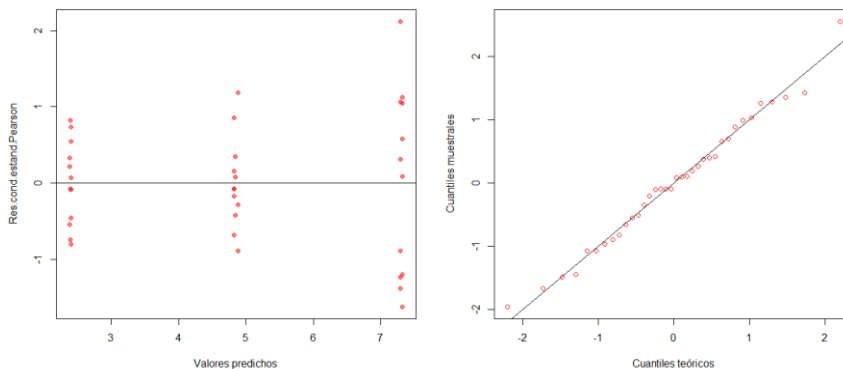
Grafica de la emisión de CO₂ con diferentes mezclas de combustible



Torque

Para esta variable se cumple ambos supuestos: homogeneidad y distribución normal de errores

Grafica de Homogeneidad de varianzas y Distribución normal de los errores



Variable dependiente: *Torque.N.m*

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

	numDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	13451575.05	<0.0001
f1	3	30.96	<0.0001
f2	2	1152655.56	<0.0001
f1:f2	6	15.40	<0.0001

Como p-value<0.05, se rechaza H_p (No existe interacción). Existe interacción entre ambos factores

Torque.N.m - Medias ajustadas y errores estándares para f1*f2

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

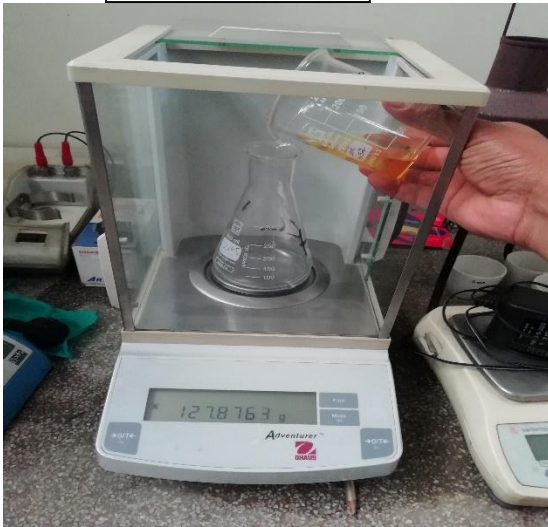
f1	f2	Medias	E.E.				
(DB5%)	3000	7.33	4.6E-03	A			
(DB5%+DBP20%)	3000	7.32	4.6E-03	A			
(DB5%+DBP60%)	3000	7.29	4.6E-03		B		
(DB5%+DBP40%)	3000	7.29	4.6E-03		B		
(DB5%)	2000	4.88	4.6E-03			C	
(DB5%+DBP20%)	2000	4.84	4.6E-03			D	
(DB5%+DBP60%)	2000	4.82	4.6E-03			D	E
(DB5%+DBP40%)	2000	4.82	4.6E-03				E
(DB5%+DBP20%)	1000	2.40	4.6E-03				F
(DB5%+DBP40%)	1000	2.40	4.6E-03				F
(DB5%)	1000	2.39	4.6E-03				G
(DB5%+DBP60%)	1000	2.38	4.6E-03				G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

El menor torque se obtiene con una carga de 1000 con cualquier tipo de combustible, y el máximo con una carga de 3000 con cualquier tipo de combustible. Esto nos muestra su carácter ascendente casi lineal en el rango de prueba.

ANEXO 3: Fotos del Proceso de elaboración del biodiesel.

Pesaje de



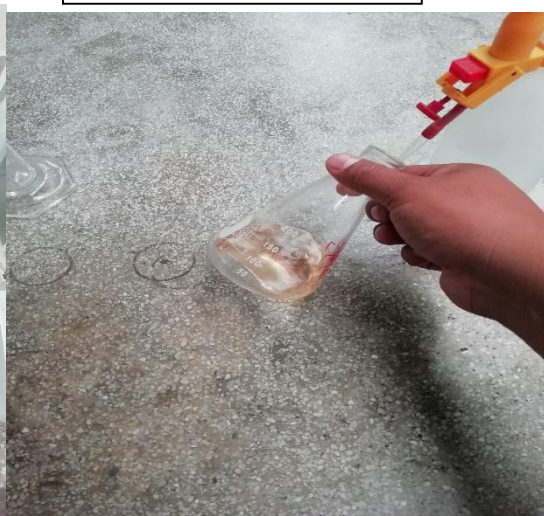
Medición de etanol 96



Calentamiento de la



Titulación de la muestra



Materia prima



Adición del



Retiro de



Retiro de biodiesel crudo (sin



Adición de biodiesel para



Adicionar agua para cada lavado





ANEXO 4: Sistema de prueba. y combustibles



