

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA USANDO BIODIESEL DE ACEITE DE
PIÑÓN (*Jatropha curcas*)”**

Presentada por:

FREDY OMIS CÁCERES GUERRERO

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

Lima-Perú

2015

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON UN MOTOR DE
COMBUSTIÓN INTERNA USANDO BIODIESEL DE ACEITE DE
PIÑÓN (*Jatropha curcas*)”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAGISTER SCIENTIAE

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Mg.Sc. Ricardo Apacla Nalvarte
Presidente**

**Dr. José Luis Calle Maraví
Patrocinador**

**Mg.Sc. Miguel Sánchez Delgado
Miembro**

**Mg.Sc. Augusto Felipe ZinggRosell
Miembro**

DEDICATORIA

A la Memoria de mis queridos padres

Delfín Cáceres y Emerenciana Guerrero

A mis amados hijos: Fredy, Aldo, José y Fred

A mi amada hija Elka Patricia

A Vilma, mi querida esposa, por su comprensión

A mis queridas hermanas y hermano, muy
especialmente a mis hermanas Olinda, Helen,
Inés y Zory, por sus valiosos apoyos y cariño.

AGRADECIMIENTO

Al personal del laboratorio de Energías Renovables, de la Facultad de Ingeniería Agrícola por su apoyo incondicional en la elaboración del biodiesel, muy especialmente al Técnico Sr. Ramiro Navarro Huilca.

Al Ing. Fredy Millan, quien proporcionó las cápsulas de *Jatropha curcas*, procedente del norte de país.

A Luis Antonio Lastra Espinoza, Ph.D, especialista del Instituto de Motores de Combustión Interna de la UNI, por su valioso apoyo en la realización de las pruebas de campo.

Al personal del Instituto de Motores de Combustión Interna de la UNI, por su colaboración en el mezclado, pesado y ensayos realizados en el banco de pruebas.

Al Ing. Celso Gonzales Chavesta, especialista estadístico, por su apoyo incondicional en los temas estadísticos del presente trabajo.

A José Luis Calle Maraví, Ph.D, profesor asesor de la presente investigación, por sus acertadas sugerencias.

A mis queridas hermanas, por su apoyo permanente para la culminación del presente trabajo.

A todas aquellas personas y amigos que de una u otra manera colaboraron para la culminación del presente trabajo.

INDICE

RESUMEN	ix
SUMMARY	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA.....	4
2.1 Antecedentes de investigaciones referidas al tema	4
2.2 El motor diésel de combustión interna	6
2.2.1 Definición	6
2.2.2 Ciclo diésel de 4 tiempos o cuatro carreas	6
2.3 Fuentes de producción de energía eléctrica centralizada y descentralizada	8
2.3.1 Mercado intergeneradores	9
2.3.2 Recursos energéticos para la generación de energía eléctrica.....	10
2.4 Producción de electricidad a partir de fuentes renovables	11
2.4.1 Energía hidráulica.....	11
2.4.2 Energía eólica	12
2.4.3 Energía química o de la biomasa.....	13
2.4.4 Energía térmica.....	15
2.4.5 Energía geotérmica	15
2.4.6 Energía solar	16
2.4.6.1 Energía solar foto térmica.....	18
2.4.6.2 Energía solar fotovoltaica.....	19
2.5 Grupos electrógenos	21
2.5.1 Partes de un grupo electrógeno.....	21
2.5.2 Tipos de generadores	24
2.5.2.1 Componentes de un generador síncrono.....	24
2.5.3 Clasificación de grupos electrógenos	25
2.6 El biodiesel a partir de semillas de <i>Jatropha curcas</i> (piñón).....	26
2.6.1 Definición del biodiesel.....	26
2.6.2 Evolución histórica	27
2.6.3 Beneficios ecológicos	27
2.6.4 Beneficios económicos	27
2.6.5 Beneficios mecánicos	28
2.6.6 Normas para el biodiesel	28
2.6.7 Tipos de biodiesel.....	28
2.6.8 Estándares del biodiesel.....	30
2.6.9 Características botánicas del piñón (<i>Jatropha curcas</i>).....	32
2.6.10 Proceso de obtención del biodiesel del piñón.....	33

2.6.10.1 Extracción de aceite.....	33
2.6.10.2 Características físicas del aceite	34
2.7 Contaminación ambiental.....	35
2.7.1 Fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos	36
2.7.2 Estándar de calidad ambiental (ECA)	37
2.7.3 Límite máximo permisible (LMP).....	38
2.7.4 Contaminantes primarios.....	38
2.7.5 Material particulado.....	39
2.7.5.1 Composición del material particulado.....	39
2.7.5.2 Tamaño del material particulado.	39
2.8 Efectos ambientales de los combustibles fósiles	39
2.8.1 Óxidos de azufre.....	39
2.8.2 Monóxido de carbono (CO).....	40
2.8.3 Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	41
2.8.4 Ozono (O ₃)	41
2.8.5 Plomo (PB)	42
2.8.6 Sulfuro de hidrogeno (H ₂ S)	43
2.9 Los biocombustibles (biocombustibles).....	43
2.9.1 Regulaciones y aplicaciones	43
2.9.2 Seguridad alimentaria y los biocombustibles	44
2.9.3 Beneficios ambientales	45
2.9.3.1 Protocolo de kyoto,.....	45
2.9.3.2 Calentamiento global del planeta	46
III. MATERIALES Y METODOS.....	48
3.1 Materiales	48
3.1.1 Tipos de combustible empleados.....	49
3.2 Métodos	51
3.2.1 Proceso de extracción de aceite de los granos de <i>Jatropha curcas</i>	51
3.2.2 Proceso de obtención del biodiesel.....	52
3.2.3 Planta de generación de energía eléctrica.....	54
3.2.4 Medición de energía eléctrica producida.....	55
3.2.5 Calculo de la potencia eléctrica generada. (NE).....	56
3.2.6 Cálculo del consumo horario de combustible (GC)	56
3.2.7 Calculo del consumo específico efectivo de combustible (GE).....	56
3.2.8 Calculo del momento de torsión del motor (ME).....	56
3.2.9 Medición de las emisiones de gases por el escape	56
3.2.10 Variación de la carga eléctrica.....	57

IV. RESULTADOS Y DISCUSION	58
4.1 Pruebas del diésel + 0% de biodiesel.	58
4.2 Pruebas del diésel D-2 + 10% de biodiesel	60
4.3 Pruebas del diésel D-2 + 20% de biodiesel	62
4.4 Pruebas del diésel D-2 + 30% de biodiesel	64
4.5 Variación del consumo horario de combustible.	65
4.6 Variación del consumo específico de combustible.	67
4.7 Variación de la opacidad de los gases de escape.	68
4.8. Variación del momento de torsión del motor.	70
4.9 Calculo de densidades de las mezclas y diésel D-2.....	71
4.10 Efecto de la potencia eléctrica generada en función de la carga aplicada.	72
4.11 Análisis estadístico de los valores de las pruebas realizadas.....	72
4.11.1 Análisis estadístico de las potencias eléctricas generado con las diferentes mezclas.....	73
4.11.2 Análisis estadístico del consumo horario de combustible.....	74
4.11.3 Análisis estadístico de consumo específico de combustible	75
4.11.4 Análisis estadístico de promedios de momento de torsión del motor	76
4.11.5 Análisis estadístico de promedios de opacidad del motor	76
V. CONCLUSIONES	78
VI. RECOMENDACIONES	80
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81
VIII. ANEXOS	83
Anexo 1: Condiciones climáticas y edáficas para la producción del Piñón.	83
Anexo 2: Emisiones del biodiesel.	85
Anexo 3: Principales características de combustibles.	86
Anexo 4: Principales normas que regulan las actividades eléctricas.....	87
Anexo 5: Número de centrales y grupos eléctricos por empresas generadoras.....	88
Anexo N°6: Sistema eléctrico ON GRID.	92
Anexo 7: Sistema eléctrico OFF GRID.	92
Anexo 8: Tipo de combustibles usados en las centrales térmicas *	93
Anexo 9: Biodiesel(B100) - Especificaciones.....	93
Anexo 10: Norma Europea CEN 14214	95
Anexo 11: Norma Americana ASTM-D6751	96
Anexo 12: Norma brasilera ANP 255 para Biodiesel.....	96
Anexo 13: Niveles de alerta para contaminantes críticos.....	97
Anexo 14: Opacidad para vehículos mayores a Diésel	97
Anexo 15: Panel fotografico del trabajo de campo	98

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1: Impactos positivos y negativos de la energía hidráulica-----	12
CUADRO 2: Impactos positivos y negativos de la energía eólica-----	13
CUADRO 3: Impactos positivos y negativos de la energía química-----	14
CUADRO 4: Impactos positivos y negativos de la energía geotérmica-----	16
CUADRO 5: Impactos positivos y negativos de energía solar-----	18
CUADRO 6: Taxonomía del piñón-----	32
CUADRO 7: Modos de extracción del aceite de <i>Jatropha curcas</i> -----	34
CUADRO 8: Propiedades físicas del aceite de piñón-----	34
CUADRO 9: Composición química del aceite de piñón-----	35
CUADRO 10: Composición del aire limpio-----	35
CUADRO 11: Elementos contaminantes del aire-----	37
CUADRO 12: Contaminantes primarios del aire-----	38
CUADRO 13: Materiales utilizados en las pruebas-----	48
CUADRO 14: Características del petróleo diésel D-2-----	49
CUADRO 15: Características del biodiésel de piñón-----	50
CUADRO 16: Pruebas con diésel + 0% de biodiésel-----	58
CUADRO 17: Parámetros calculados diésel + 0% biodiésel-----	59
CUADRO 18: Pruebas con diésel + 10% de biodiésel-----	60
CUADRO 19: Parámetros calculados diésel + 10% biodiésel-----	61
CUADRO 20: Pruebas con diésel + 20% de biodiésel-----	62
CUADRO 21: Parámetros calculados diésel + 20% biodiésel-----	63
CUADRO 22: Pruebas con diésel + 30% de biodiésel-----	64
CUADRO 23: Parámetros calculados diésel + 30% biodiésel-----	65
CUADRO 24: Densidades de las mezclas y diésel D-2-----	71

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: Diagrama de funcionamiento de un motor diésel.....	7
FIGURA 2: Proceso de extracción del aceite de <i>Jatropha curcas</i> (elaboración propia)	51
FIGURA 3: Proceso de extracción del biodiesel de <i>Jatropha curcas</i> (elaboración propia)	54
FIGURA 4: Planta de generación de energía eléctrica (IMCI-UNI).....	55
FIGURA 5: Esquema de la planta de prueba eléctrica (elaboración propia)	55
FIGURA 6: Consumo horario de combustible (elaboración propia)	66
FIGURA 7: Ecuación lineal del consumo horario de combustible	66
FIGURA 8: Consumo específico de combustible (elaboración propia).....	67
FIGURA 9: Diagrama de barras de consumo específico de combustible (elaboración propia)	68
FIGURA 10: Opacidad medido en el escape de gases del motor (elaboración propia)	69
FIGURA 11: Diagrama de barras de la opacidad medido en el escape de gases	69
FIGURA 12: Torque del motor producido con las diferentes mezclas (elaboración propia).....	70
FIGURA 13: Densidades de las mezclas y diésel puro (elaboración propia)	71
FIGURA 14: Potencia eléctrica en función de la carga eléctrica (elaboración propia)	72

RESUMEN

Desde hace muchos años atrás, las actividades industriales vienen usando como energía para sus máquinas la energía eléctrica generada con diferentes fuentes, tales como las centrales hidroeléctricas, fuentes de energía térmicas, etc., pero para la iluminación de las viviendas en muchas partes de nuestro país se usan grupos electrógenos con motores de combustión interna a diésel o gasolina y en algunos lugares fuentes renovables como la energía solar y energía eólica.

Dentro de los combustibles alternativos que cobran importancia por su valor ecológico se encuentran los biocombustibles, como el bioetanol, biometanol y el biodiesel. En este trabajo se estudia de manera experimental el comportamiento de un motor diésel en una planta de generación de energía eléctrica empleando como combustible, biodiesel obtenido a partir de aceite del piñón (*Jatropha curcas*).

Según los resultados obtenidos las mezclas que usaron 20% y 30% de biodiesel produjeron mayor potencia eléctrica, que el testigo (D-2) y la mezcla con el 10% de biodiesel, pero existieron diferencias significativas estadísticamente entre ellos. En cuanto al consumo horario de combustible, tuvieron el mismo comportamiento, es decir a medida que se incrementó la potencia eléctrica, también se incrementó el consumo del combustible, pero estadísticamente hubieron diferencias significativas entre mezclas, siendo éstos, mayores con la mezclas con 20% y 30% de biodiesel; mientras que el consumo específico fue mayor cuando la potencia eléctrica generada fue baja, es decir el rendimiento del motor fue menor, pero a medida que aumento la potencia eléctrica el consumo específico bajo a 0.5 Kg/KW-h, manteniéndose constante a medida que la potencia eléctrica aumentaba, lo que nos indicó que en este caso el rendimiento del motor de combustión interna fue alto, estadísticamente hubo diferencia significativa entre mezclas, siendo mayor con el 20% de biodiesel.

La opacidad generada por el motor de combustión interna de prueba se fue incrementando en los gases del escape a medida que aumentó la potencia eléctrica, en todos los casos, mientras que el torque generado en el motor de combustión interna al producirse la potencia eléctrica, tuvo un comportamiento lineal cuya ecuación lineal tuvo un R^2 del 99%.; sin embargo se obtuvo diferencias significativas entre las mezclas.

Palabras Claves: biodiesel, potencia eléctrica, consumo de combustible, reducción de emisiones de gases contaminantes, *Jatropha curcas*.

SUMMARY

From many years ago, industrial activities have been used as energy for its machines the electrical energy generated with different sources, such as the hydroelectric power plants, thermal power sources, etc. , but for the illumination of the homes in many parts of our country used generators with internal combustion engines to diesel or petrol and in some places renewable sources such as solar energy and wind energy.

Within the alternative fuels that are becoming increasingly important for its ecological value are biofuels, such as bioethanol and biodiesel biomethanol. In this paper, we study experimentally the behavior of a diesel engine in a plant of electric power generation using as fuel, biodiesel obtained from pinion oil (*Jatropha curcas*). According to the results obtained mixtures that used 20% and 30% of biodiesel produced higher electrical power, that the witness (D-2) and the mixture with 10% biodiesel, but statistically significant differences existed between them. In regard to the consumption of fuel hours, had the same behavior, i.e. as they increase the electrical power, it also increased the consumption of fuel, but there were statistically significant differences between mixtures, These being, higher with the mixtures with 20% and 30% of biodiesel; while the specific consumption was higher when the electrical power generated was low, that is to say the performance of the engine was lower, but as you increase the electrical power consumption under specific to 0.5 Kg/KW-h, remaining constant as the electrical power was increasing, so that told us that in this case the performance of the internal combustion engine was high, statistically significant difference was found between mixtures, being higher with 20% of biodiesel. The opacity generated by the internal combustion engine test was increased in the exhaust gases to measure that increase the electrical power, in all cases, while the torque generated by the internal combustion engine to occur the electrical power, had a linear behavior whose linear equation had an R2 of 99 % .; however obtain significant differences between the mixtures.

Key Words: biodiesel, electric power, fuel consumption, reduction of emissions of gaseous pollutants, *Jatropha curcas*.

I. INTRODUCCIÓN

El problema del cambio climático, en especial el resultado del calentamiento global provocado por la acumulación de los gases de efecto invernadero, es un tema que en los últimos años ha tomado una gran relevancia, pues las variaciones se han acelerado crecientemente de manera anómala, a tal grado que pone en riesgo a la humanidad.

Se señala como el principal responsable del calentamiento global al dióxido de carbono. Pues, la quema excesiva de los combustibles fósiles en las plantas generadoras de electricidad y por el transporte automotor se ha incrementado el lanzamiento de emisiones de CO₂ a la atmósfera, así también el rápido avance industrial de los centros urbanos. Por ello se ha generado una creciente preocupación para el hombre el intentar disminuir la continua degradación del medio ambiente, lo cual se lograría con el desarrollo de combustibles alternos a partir de biotecnologías, por medio de la producción de biocombustibles de contenido energético comparable con el de los combustibles fósiles.

Un biocombustible alternativo al diésel D-2 es el biodiésel, obtenido de productos vegetales oleaginosos, grasas animales o restos de aceites comestibles.

Una de las principales ventajas de la utilización del biodiésel es la reducción de las emisiones de CO₂, gracias al balance neutro de carbono en la combustión de biodiésel

El fin supremo de las innovaciones y tecnologías modernas, es mejorar la calidad de vida de las personas en los lugares donde se aplica; a pesar de ello en nuestra selva y sierra del Perú existen lugares alejados de las grandes ciudades donde los pobladores viven todavía en situaciones muy precarias, sin las mínimas condiciones de servicios básicos.

Instituciones importantes como el Consejo Mundial de Energía (WEC), el Banco Mundial y Naciones Unidas, consideran que el acceso de los pobres a los servicios básicos de energía es uno de los factores más importantes para contribuir a la reducción de la pobreza, entre otras razones porque la energía contribuye también al acceso y/o la mejora de otros servicios básicos, como agua potable, salud, educación, comunicaciones y otros.

Durante las últimas dos décadas se han promocionado a los pequeños sistemas descentralizados como la opción adecuada para la electrificación de las zonas rurales aisladas, especialmente aquellas basadas en energías renovables (micro hidráulica, solar fotovoltaica, eólica y biomasa). Sin embargo, su avance ha sido lento, debido al escaso éxito obtenido en muchos proyectos pilotos en cuanto a su sostenibilidad. Se suma a ello el problema del costo, sobre todo cuando existe una alta dependencia de la importación de equipos y servicios (ITDG 2007)

Según el Atlas Minería y Energía en el Perú 2001, tenemos 222 centrales hidroeléctricas distribuidas a lo largo y ancho del país, siendo la más pequeña la central hidroeléctrica ubicada en el distrito de Santiago de Chocorgos, en Huaytará, Huancavelica con 0.010 MW de producción y la más grande ubicada en el distrito de Colcabamba en la provincia de Tayacaja, Huancavelica con una producción de 798,000 MW.

El uso de fuentes alternativas de combustibles fósiles en motores de combustión interna para la generación de energía eléctrica, podría cambiar esta situación de los pobladores rurales y el biodiesel obtenido a partir del Piñón, que en la zona de selva se cultiva, mejor aún, porque permitiría generar recursos por la venta de las cápsulas de piñón y el uso del biocombustible para los vehículos diésel y grupos electrógenos.

El presente trabajo tiene como objetivo general, la generación de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna y un generador de corriente alterna utilizando como combustible petróleo diésel D-2 y diferentes porcentajes de biodiesel a base de aceite de piñón (*Jatropha curcas*) en el mismo.

LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS FUERON:

- a. Evaluar la variación del consumo horario de diferentes mezclas del diésel 2 y biodiesel en función de la potencia eléctrica desarrollada por el motor
- b. Evaluar la variación del consumo específico efectivo de combustible en función de la potencia generada por el motor.
- c. Evaluar la variación de la opacidad de los gases del escape en función de la potencia desarrollada por el motor bajo diferentes mezclas de diésel 2 y biodiesel.
- d. Evaluar la variación del momento de torsión del motor en función de la potencia eléctrica desarrollada por el motor.

II. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIONES REFERIDAS AL TEMA

En los últimos años el biodiesel se ha constituido en uno de los rubros de importancia como sustituto del combustible tradicional, que en diferentes partes del mundo se vienen realizando investigaciones para el uso del mismo en los motores de combustión interna y para la generación de energía eléctrica; así tenemos que la AGCO GMBH& Co., sección Fendt, (UFOP 2003) indica que todos los tractores de 50 a 286 CV, pueden usar biodiesel con la calidad normada mediante DIN En 14214; Case Germany, autoriza el uso del biodiesel en sus modelos de tractores de la serie Case Steyr y los modelos CS y CVX/T, desde el año 1990 en adelante.

En cuanto a las marcas, Mercedes-Benz ya se encuentra trabajando con esta fuente de biodiesel. Precisamente la marca alemana afirma que se dejarían de emitir 200 millones de toneladas de CO₂ por año si únicamente en Europa el 20% del combustible fuera biodiesel. Junto a esto, se conseguiría reducir al 50% las emisiones de partículas, algunas de las cuales son cancerígenas. La también alemana Volkswagen lanzará motores diésel que soportarán diferentes tipos de este biocombustible.

En 1912 Rudolph Diésel, inventor del motor que lleva su nombre dijo “El uso de los aceites vegetales puede resultar insignificante hoy en día, pero a medida que el tiempo avance, estos productos pueden resultar tan importantes como los derivados del petróleo que ahora tenemos”

En el estudio del desempeño mecánico y ambiental de los motores de encendido por compresión al utilizar biodiesel como combustible (Fajardo *et al.* 2005) desarrollado por el grupo de investigación de la Universidad Tecnológica de Bolívar-Colombia, determinaron, que la potencia disminuye cuando se utiliza Biodiesel como combustible o se aumenta su porcentaje en la mezcla, esto se debe al menor poder calorífico del biocombustible con respecto al del diésel convencional; así mismo que el consumo de combustible aumenta para el biodiesel y sus mezclas entre 14% y 20% para B20 y B50

respectivamente, este aspecto también está relacionado con el menor poder calorífico del biocombustible; mientras que la opacidad de los humos disminuye en tanto se agrega biodiesel a la mezcla entre 20% y 30% para B20 y B50 respectivamente, dependiendo directamente de la afinación del motor y del buen estado de sus componentes (sistema de inyección).

Ferrari *et al.* (2007) utiliza un generador de electricidad y biodiesel de soja obtenido por transesterificación con etanol anhidro en presencia de un catalizador alcalino de NaOH, con 57% de rendimiento en el proceso de fabricación. Las porciones de 5; 10; 20; 40; 60; 80 y 100% de aceite diésel comercial fueron probados y el consumo medio, en Lh^{-1} en funcionamiento, el equipo se mantuvo bajo las mismas condiciones operativas. Se observó la Disminución en el consumo de combustible de 3.7% para B5; 5.9% para B10, 1.6% para B20 y hubo un pequeño aumento en el consumo en las otras mezclas.

Correa *et al.* (2008) evaluó el uso de mezclas de biodiesel de girasol (B5, B10, B20 y B100) y diésel de origen fósil en un motor de combustión interna, de inyección directa. Se analizó el rendimiento de motor a través de la toma de fuerza (PTO) para cada combustible. El aceite lubricante se analizó antes y después del período de 96 horas con B100. Los resultados mostraron que el uso de mezclas B5, B10, B20 y B100 disminución del poder de toma de fuerza máxima del 2.2% y aumentó el máximo consumo de combustible del 7.3%. El análisis de aceite lubricante mostraron que la viscosidad, contenido de agua y el nivel de hierro fueron los parámetros más afectados, a pesar de haber sido aceptable.

Barbosa *et al.* (2008) evaluó el desempeño de un motor alimentado con petróleo diésel y mezclas de minerales con la proporción de biodiesel B2 equivalente (98% diésel mineral y 2% de biodiesel), B5 (95% diésel mineral y el 5% de biodiesel), B20 (80% diésel mineral y el 20% de biodiesel) y B100 (100% biodiesel), llegó a la conclusión de que el aumento de la potencia del motor respectivamente el B100 al diésel mineral, sin embargo, en el orden inverso, la eficiencia térmica de las mezclas de diésel mineral disminución de la producción de biodiesel en crecimiento, y el 4% más bajo para el B100.

Zingg Rosell, Augusto (2004), al comparar la potencia con la velocidad del motor y usando diésel, biodiesel y diferentes combinaciones de éstos, determinó que la curva generada con las diferentes mezclas, entre la potencia y rpm del motor, tuvo un comportamiento casi lineal con cada uno de ellos con diferencias difícil de apreciar. La potencia desde 65 hp se fue incrementando a partir de 1400 rpm, llegando a un máximo de 105 hp de potencia con 2,600 rpm, desde donde sí se incrementó las rpm, la potencia empezó a decrecer.

Canturin Chávez, Abigail (2006) evaluó el desempeño de un motor diésel con mezclas de biodiesel de Palma, en las proporciones de B2; B5; B10; B20; B30; B50 Y B100, donde determinó que a medida que aumenta el porcentaje de biodiesel de palma en el diésel, se producía una disminución de la potencia y del torque, pero estas variaciones estaban dentro del rango permisible de calibración del motor (potencia a 2600 rpm: 0 a -5%; Torque a 1600 rpm: 0 a -3%); así mismo determinó que a medida que se incrementaba el biodiesel de palma en el diésel, la opacidad disminuyó hasta un 80%.

2.2 EL MOTOR DIÉSEL DE COMBUSTIÓN INTERNA

2.2.1 DEFINICIÓN

Cummins engine company, Inc. (1976). Define: El motor diésel es un motor de combustión interna que utiliza la compresión para la ignición. No se requiere una ignición artificial, tal como las bujías para la combustión. Cuando se comprime el aire dentro del cilindro por la carrera de compresión del pistón, la temperatura del aire aumenta lo suficiente para inflamar de inmediato el combustible inyectado.

2.2.2 CICLO DIÉSEL DE 4 TIEMPOS O CUATRO CARREAS

En los motores diésel, el ciclo de trabajo se realiza en dos giros del eje cigüeñal y está conformado por: admisión, compresión, combustión o explosión y escape. La figura siguiente nos indica el ciclo de funcionamiento del motor diésel teórico.

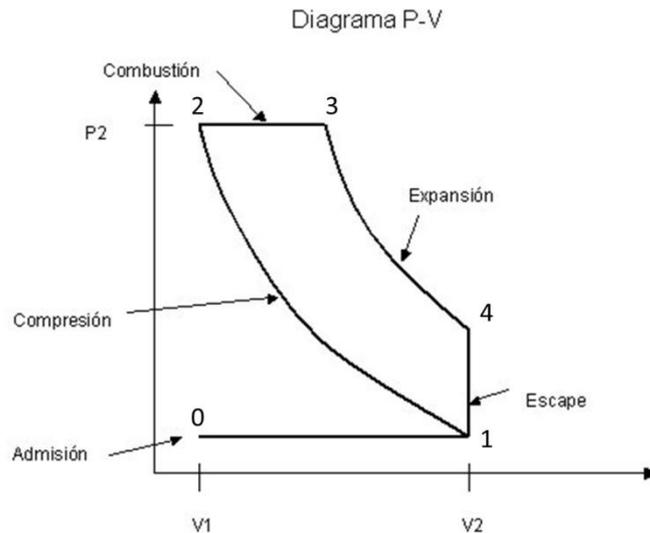


Figura 1: Diagrama de funcionamiento de un motor diésel

(0 – 1) Carrera de admisión o aspiración:

Se abre la válvula de admisión, cuando el pistón está en el punto muerto superior (PMS), gira el cigüeñal, el pistón se desplaza hacia el punto muerto inferior (PMI) y permite la entrada de aire dentro del cilindro.

(1 – 2) Carrera de compresión:

Idealmente el proceso es isentrópico (entropía constante) Se cierra la válvula de admisión, gira el cigüeñal, el pistón se desplaza hacia el punto muerto superior (PMS) y comprime el aire contenido dentro del cilindro, aumentando su temperatura.

(2 – 3) Calentamiento instantáneo de la sustancia a presión constante:

Las válvulas se mantienen cerradas y el pistón se encuentra en el PMS dentro del cilindro. En este instante entra el combustible pulverizado a través del inyector y se mezcla con el aire caliente generando la ignición con múltiples explosiones las cuales encienden todo el combustible. Se mantiene la presión pero el volumen aumenta (aire + combustible).

(3 – 4) Carrera de expansión o de trabajo, idealmente el proceso es isentrópico:

Al inflamarse la mezcla se produce una transformación de la energía química del combustible en energía calórica la misma que hace que el pistón descienda rápidamente hacia el PMI completando el giro del cigüeñal.

(4 – 1) Rechazo o expulsión instantánea del calor a volumen constante:

Se mantiene constante el volumen pero existe una transferencia de calor inmediatamente a través de las paredes desde adentro de la cámara de combustión hacia fuera de la misma.

(1 – 0) Carrera de escape:

Se abre la válvula de escape para la eliminación de los gases quemados producidos en la combustión, además se cede el calor a la atmósfera. El pistón sube hasta el PMS, para repetirse el ciclo.

2.3 FUENTES DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CENTRALIZADA Y DESCENTRALIZADA

La industria eléctrica nacional tiene una infraestructura disponible por 45 empresas que generan energía para el mercado eléctrico y al menos 86 empresas auto productoras que desarrollan actividades en manufactura, minería, agroindustria, pesca, etc.

Al año 2010, se registró la operatividad de 421 centrales eléctricas, de las cuales el 57% generan energía para atender el mercado eléctrico y el 43% de centrales más pequeñas que abastecen el consumo de energía de los autos productores.

Dicha infraestructura cuenta con diversas tecnologías según la fuente de energía disponible, actualmente tiene 165 centrales hidroeléctricas y 256 térmicas que generan con gas natural, a carbón, diésel, residual y bagazo. Asimismo, de la totalidad de centrales hidroeléctricas, el 80% generan para el servicio que se brinda al mercado eléctrico y el 20% para uso propio. Con relación al total de centrales térmicas, el 42% generan para el mercado eléctrico y 58% para uso propio.

Entre los aspectos relevantes que caracteriza el parque de generación del país se puede destacar que el 41% de las centrales interconectadas han generado el 93% del total de energía a nivel nacional, mientras el 59% de centrales aisladas más pequeñas sólo generan el 7% del total.

Con relación a las centrales eléctricas aisladas, las empresas del mercado eléctrico que disponen la mayor cantidad de centrales aisladas son: Electro Oriente S.A. con 32 centrales (3% hidroeléctricas y 97% térmicas); Electronorte Medio S.A. – HIDRANDINA con 10 centrales (60% hidroeléctricas y 40% térmicas), Electrocentro S.A. con 8 centrales (75% hidroeléctricas y 25% térmicas); y Electronorte S.A. con 14 centrales (64% hidroeléctricas y 36% térmicas). Relación de empresas en el anexo 04.

La política energética en el Perú se desarrolla según los siguientes lineamientos principales:

- Diversificar la matriz energética para asegurar el abastecimiento confiable y oportuno a la demanda de energía, a fin de garantizar el desarrollo sostenible del país.
- Promover la inversión privada en el sector energético con reglas claras y estables.
- Fomentar y ejecutar las obras de energización en las zonas rurales y aisladas del país para ampliar la cobertura de la demanda y mejorar la calidad de vida de la población.
- Fomentar el uso eficiente de la energía.
- Promover la integración energética regional.

El Perú es un país que cuenta con leyes específicas en materia de energías renovables y de eficiencia energética:

- Decreto Legislativo N°1002, de mayo del 2008, “Ley para Promover la Generación de Electricidad con Energía Renovables”.
- Ley N° 27345, de septiembre del 2000, “Ley de promoción del uso eficiente de la energía”. Otras normas se puede observar en el anexo N°4

2.3.1 MERCADO INTERGENERADORES

En el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional, la empresa Electroperú S.A., realizó la mayor entrega neta de energía eléctrica con 1,041 GW.h, seguido de Edegel S.A.A., con 620 GW.h. Por otro lado, la empresa que realizó el mayor retiro neto de energía fue Enersur S.A. con 849 GW.h, seguido de Kallpa Generación S.A. con 475 GW.h.

2.3.2 RECURSOS ENERGÉTICOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La producción de energía eléctrica se da siguiendo las siguientes fases:

1. **Generación**, que puede darse desde diferentes fuentes, como la hídrica, eólica, solar, térmica, etc.
2. **Trasmisión**, desde los centros de generación hasta los sistemas de distribución a través de líneas, que pueden ser de alta tensión, cuando la tensión es mayor de 30,000 voltios; media tensión cuando la tensión es de 1,000 a 30,000 voltios y baja tensión cuando la tensión es menor de 1,000 voltios.
3. **Sistema de distribución**, que se da en los centros poblados o lugares de consumo de la energía, en los cuales se tendrá la trasmisión primaria, que se da con tensiones de 10,000 a 13,000 voltios y la trasmisión secundaria que llevan la energía a los centros de consumo, como los domicilios o comercios en los centros poblados.

Hidrología

El recurso hídrico utilizado para generar energía eléctrica estuvo disponible en mayor medida entre los más importantes embalses de la zona centro norte, como el lago Junín que alcanzó un volumen útil máximo de 427.8 millones de m³ de agua, registrado en el mes de febrero 2010. Para el caso de la zona sur, la laguna Aricota que registró un volumen máximo 190.1 millones de m³ de agua, en el mes de enero del año 2010.

Los embalses de la zona centro norte del país, alcanzaron un volumen máximo de 892.2 millones de m³, en el mes de mayo de 2010 y, los embalses de la zona sur tuvieron un volumen máximo de 691.5 millones de m³, que ocurrió en el mes de marzo 2010.

Combustibles

Entre los combustibles líquidos utilizados en las centrales térmicas para generar energía eléctrica durante el año 2010, están el Diésel 2 (52.4 millones de galones), el residual 6 (53.7 millones de galones) y residual 500 (36.9 millones de galones).

El consumo de gas natural para generar energía fue 3,241 millones de metros cúbicos, cifra que significó un 27.5% de incremento respecto al año 2009.

Asimismo, se utilizó 1.5 millón de toneladas de bagazo, para generar energía, 25.2% mayor al registrado el año anterior. Con relación al carbón, éste alcanzó las 465.1 mil toneladas, cuyo incremento fue 31.4% respecto al registrado el año 2009.

2.4 PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES

La producción y distribución de electricidad se puede dar en dos sistemas bien marcados independientemente de su fuente de producción:

- Sistema On-grid, son sistemas conectados directamente a la red pública de electricidad, los mismos que pueden tener como fuente de producción las centrales hidroeléctricas, térmicas u otros sistemas, pero los mismos abastecerán de electricidad a las ciudades y centros poblados, proveyendo de energía eléctrica para todas las actividades humanas. Ver figura en anexo N°5.
- Sistema Off-grid, son los sistemas que no son conectados a la red pública de electricidad, pero que pueden satisfacer las necesidades de electricidad en de algunos lugares, como viviendas, comunidades rurales, pequeñas industrias, etc., pueden ser generados a partir de pequeñas fuentes hidroeléctricas, grupos electrógenos diésel, paneles solares, aerogeneradores, etc. Ver figura en Anexo N°6

2.4.1 ENERGÍA HIDRÁULICA

Es la energía asociada a los saltos de agua de ríos y embalses, energía convencional, muy conocida en el Perú, pero solo se considera energía renovable a la mini, micro y pico centrales hidroeléctricas, por tener casi nulo impacto ambiental.

La forma de energía que posee el agua de los embalses es energía potencial gravitatoria, que podemos aprovechar conduciéndola y haciéndola caer por efecto de la gravedad.

Se puede transformar en energía mecánica en los molinos de agua y en energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas.

Las centrales hidroeléctricas son aquellas en las que se utiliza la fuerza que trae consigo el caudal de un río o la presión por desnivel, que va desde un embalse hasta la planta generadora. Así, en las centrales hidroeléctricas se ocupa la fuerza mecánica del agua para accionar una turbina que a su vez mueve el rotor del generador que produce la electricidad. Así, los impactos positivos y negativos en la etapa constructiva se puede observar en el cuadro 1.

Cuadro 1: Impactos positivos y negativos de la energía hidráulica.

Impactos positivos	Impactos negativos
Energía limpia	Imprevisibilidad de las precipitaciones.
No contaminante	Capacidad limitada de los embalses.
Su transformación es directa	Impacto medioambiental en los ecosistemas.
Es renovable	Costo inicial elevado
	Riesgos debido a la posible ruptura de los embalses.

FUENTE: Elaboración propia

2.4.2 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica en el Perú, según el “Atlas Eólico del Perú” elaborado por el consorcio METEOSIM TRUEWIND S.L. y LATIN BRIDGE BUSINESS S.A. por encargo del MEM, determinaron que el Perú tiene una potencia eólica total de 77,394 MW, sin considerar zonas off- shore (en el mar) de los cuales 22,452 MW son potencia aprovechable. Y según el Atlas Eólico del Perú los departamentos de Ica y Piura, situados en la costa, son las regiones que cuentan con el mayor potencial aprovechable, con 9,144 MW y 7,554 MW respectivamente, existiendo registros de viento de 5 a 7 m/s. MEM. (2009)

El mercado de la energía eólica se está desarrollando con tasas anuales de crecimiento en torno al 30%, habiendo pasado de los 2,500 MW en el año 1992 a 94,000 MW a 1 de enero de 2008, con lo que se proporciona energía suficiente para satisfacer las necesidades de unos 50 millones de hogares, más de 120 millones de personas.

La forma de energía que posee el viento es la energía cinética, que se puede transformar en energía mecánica en los molinos de vientos o barcos de vela, y en energía eléctrica en los aerogeneradores, Aero bombas, etc.

Cuadro 2: Impactos positivos y negativos de la energía eólica.

Impactos positivos	Impactos negativos
Energía limpia	Intermitencia de los vientos
Sencillez de los principios aplicados	Dispersión geográfica
Conversión directa	Impacto ambiental sobre ecosistemas.
Empieza a ser competitiva	Generación de interferencias.
Energía renovable	Tecnología en desarrollo
Tecnologías maduras y conocidas	Dificultad de almacenamiento
	Ruido
	Impacto paisajístico
	Efecto sombra
	Costos altos

FUENTE: Elaboración propia

2.4.3 ENERGÍA QUÍMICA O DE LA BIOMASA

Es la energía asociada a los residuos orgánicos generados en la transformación de productos agrícolas, forestales y a los residuos sólidos urbanos. Se trata de aprovechar la energía interna de estos residuos. También se cultivan grandes superficies específicamente para producir biomasa.

Se puede transformar en combustibles sólidos (carbón vegetal), líquidos (alcohol y otros) y gaseosos (biogás). De su combustión se puede obtener energía eléctrica.

- Energía sólida, generada por la conversión de árboles en carbón vegetal, el uso de leña de árboles como combustible para la preparación de alimentos en el ámbito rural o el uso de bagazo de la caña de azúcar; para generar energía eléctrica, briquetas de residuos de productos orgánicos como el aserrín o cascara de arroz y la bosta, etc.

- Energía líquida, que son obtenidas de ciertos vegetales como la caña de azúcar, remolacha azucarera, pasto varilla, sorgo dulce, maíz, yuca, etc., para la producción de etanol, para motores de encendido por chispa; por otro lado se tiene a los cultivos oleaginosos, como la palma aceitera, soja, maní, *Jatropha curcas*, colza, girasol, etc., así como la grasa animal y aceites alimenticios usados, para la producción de biodiesel, para los motores de encendido por compresión. su uso principal es como aditivo del diésel fósil porque contribuye a disminuir la emisión de contaminantes como el monóxido de carbono y los hidrocarburos volátiles. SAGARPA, México. (2009)
- Energía gaseosa, obtenida de desechos orgánicos de la basura o de los excrementos de animales, como el biogás (gas metano), que vienen siendo utilizados para la generación de energía eléctrica. Un buen ejemplo es la ciudad de Monterrey, cuya planta de biogás genera 16.96 kilowatts de energía eléctrica, suficiente para alimentar el sistema de bombeo de agua de la ciudad, el alumbrado público de la ciudad y sus municipios.

Una ventaja adicional consiste en que su aprovechamiento impide que el metano se libere a la atmósfera, ya que es varias veces más contaminante que el CO₂ que se produce por quemar el combustible fósil. SAGARPA, México. (2009)

Cuadro 3: Impactos positivos y negativos de la energía química.

Impactos positivos	Impactos negativos
Favorece el reciclaje de residuos urbanos. Contribuye a una mejor limpieza de los bosques y como consecuencia previene incendios forestales. Aprovecha ciertos terrenos que no son válidos para otros cultivos. Generación de niveles menores de gases de efecto invernadero	Necesidad de grandes superficies de cultivos. Tecnología en desarrollo. Seguridad alimentaria Necesidad de agua y tierras Generación de conflictos sociales en el ámbito rural Protestas de organizaciones ambientalistas. Genera deforestación de bosques naturales. Mayor uso de fertilizantes nitrogenados, que genera óxido nitroso.

FUENTE: Elaboración propia

2.4.4 ENERGÍA TÉRMICA

En la Región norte del país tenemos seis plantas que producen energía térmica, como alternativa y complemento a la energía que es generada por las centrales hidroeléctricas en las épocas de estiaje.

La primera central termoeléctrica en entrar en funcionamiento fue la de Piura, en 1960, cuya potencia instalada actual es de 40.4 megavatios (MW). Le siguió la de Chimbote, en 1971, con una potencia instalada actual de 44 MW.

En 1973 entro en operaciones la planta de Trujillo, actualmente con 20.4 MW, la central de Paita con 5.8 MW y la central de Sullana con una potencia instalada actual de 8.5 MW.

La potencia instalada de las seis centrales térmicas es de 143.5 MW. La producción de las seis centrales térmicas fue de 125.2 GWh, lo cual representa un 5.73% de la producción de energía eléctrica de Duke Energy Egenor. MEM. (2008)

2.4.5 ENERGÍA GEOTÉRMICA

Es la energía interna y cinética asociada al vapor de agua que sale directamente a la superficie en zonas volcánicas y al aumento de temperatura que se produce conforme profundizamos en la superficie terrestre.

El Ministerio de Energía y Minas (MEM) informó que por la ubicación de Perú en el Cinturón de Fuego del Pacífico, su potencial geotérmico es abundante y, según el jefe representante de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en Perú, Makoto Nakao, se estima que por lo menos 3,000 megavatios (Mw) serían explotables en todo el país debido a la energía geotérmica; así se tiene el Plan Maestro de Desarrollo de la Energía Geotérmica en Perú acordado entre el gobierno peruano, representado por el MEM, y la JICA, el cual fue suscrito el 29 de diciembre de 2009. La energía geotérmica genera energía limpia, siendo en este sentido amigable al medio ambiente, Se transforma en energía eléctrica o en energía térmica para calefacción.

Cuadro 4: Impactos positivos y negativos de la energía geotérmica.

Impactos positivos	Impactos negativos
Energía limpia En los sitios donde se da, es abundante. Es la única que ofrece altos factores de utilización, al brindar estabilidad en el suministro de energía durante los 365 días del año.	No renovable Solo es aprovechable en lugares muy concretos. Tecnología en desarrollo.

FUENTE: Elaboración propia

2.4.6 ENERGÍA SOLAR

Según un estudio realizado por el MEM durante el 2004, se estima que hay de 25,000 a 30,000 termas solares en el Perú, de los cuales hay alrededor de 10,000 termas solares instaladas en Arequipa, en Ayacucho 44, en Lima 25, en Puno 52, en Tacna 29, en Ancash 11, etc. Con 20 fabricantes, que han constituido la “Asociación de Empresas Peruanas de Energía Solar” AEPS, y fabrican alrededor de 600 metros cuadrados de colectores solares para termas.

Por otro lado, hasta el 2005, en el Perú había alrededor de 10,000 SFV (Sistema Foto Voltaico) instalados, con una potencia total de 1.5 MWp. 65 % de esta potencia corresponde a SFV para telecomunicaciones, 29 % para iluminación interna a casas, incluyendo postas de salud, salas comunales, etc., y el resto para otros usos como para refrigeración, bombeo de agua, y otros.

Hay que anotar que la mayoría de los SFV usados para electrificación Rural son del tipo “Sistema Fotovoltaico Domiciliario”, SFD (en inglés: “solar home system”, SHS), con potencias típicas de 50 – 60 Wp, operando junto con una batería de plomo ácido, un regulador de carga, y 2 – 4 lámparas fluorescentes de 9 – 11 W, teniendo un costo del orden de US\$ 600 (incluyendo impuestos e instalación). Un SFD satisface las necesidades usuales de electricidad de una familia en el campo.

La energía solar es el recurso energético con mayor disponibilidad en casi todo el territorio Peruano, en la gran mayoría de localidades del Perú, la disponibilidad de la

energía solar es grande y bastante uniforme durante todo el año, comparado con otros países, lo que hace atractivo su uso.

En términos generales, se dispone, en promedio anual, de 4-5 kWh/m² día en la costa y selva de 5-6 kWh/m² día, aumentando de norte a sur. Esto implica que la energía solar incidente en pocos metros cuadrados es, en principio, suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de una familia. El problema es transformar esta energía solar en energía útil y con un costo aceptable.

La energía solar se puede transformar con facilidad en calor; de hecho, cualquier cuerpo, preferentemente de color negro, absorbe la energía solar y la transforma en calor, que puede ser usado para calentar ambientes, calentar agua (termas solares), secar diversos productos, cocinar, etc.

Por otro lado, con los paneles fotovoltaicos, o simplemente llamados “paneles solares”, se puede transformar la energía solar directamente en electricidad. La fabricación de los paneles fotovoltaicos requiere alta tecnología y pocas fábricas en el mundo (en países desarrollados) lo hacen, pero su uso es sumamente simple y apropiado para la electrificación rural, teniendo como principal dificultad su (todavía) alto costo.

Presentaremos a continuación algunos ejemplos de aplicaciones de la energía solar en el Perú.

- Electricidad para el sector residencial, comercial y de infraestructura social.
- Calentamiento de agua mediante termas solares.
- Calefacción de ambientes.
- Cocinas y hornos para el sector rural.
- Sistemas de desalinización y potabilización de agua.
- Secadores de productos agrícolas.
- Bombeo de agua e invernaderos.
- Incubadoras para aves de corral.

Desde hace varios años existe el proyecto GEF – MEM “Electrificación rural en base a energía fotovoltaica en el Perú”, cuya meta es la instalación de 7500 sistemas fotovoltaicos, mayormente domiciliarios, en diferentes regiones del Perú, en especial en la selva.

El 26 de octubre del 2012 el Presidente del Perú inauguró en el distrito de La Joya, provincia de Arequipa, la “Central Solar Repartición 20T”, la primera central fotovoltaica de Sudamérica que generará electricidad a partir de la energía solar.

La central ubicada en las pampas de La Joya generará 22 megavatios y 40 megavatios en sus dos etapas, y producirá energía para 8 mil habitantes de la región, obra ejecutada por la empresa española T-Solar con presupuesto de 160 millones de soles.

Cuadro 5: Impactos positivos y negativos de energía solar.

Impactos positivos	Impactos negativos
Energía limpia	Grandes variaciones en el tiempo de irradiación.
Producción de calor a bajas temperaturas.	Es aprovechable solo en algunas partes del planeta.
Concentración de calor a altas temperaturas.	Necesidad de grandes superficies de captación para su aprovechamiento a gran escala.
Producción de energía eléctrica.	Tecnología en desarrollo.
Producción de hidrógeno mediante electrólisis.	Costos de instalación altos
Aplicación pasiva en la arquitectura.	Rendimientos bajos.
Conversión directa	Dificultad de almacenamiento.
Empieza a ser competitiva	

FUENTE: Elaboración propia

2.4.6.1 ENERGÍA SOLAR FOTO TÉRMICA

Los Sistemas foto térmicos convierten la radiación solar en calor y lo transfieren a un fluido de trabajo. El calor se usa entonces para calentar edificios, agua, mover turbinas para generar electricidad, secar granos o destruir desechos peligrosos. Los Colectores Térmicos Solares se dividen en tres categorías:

- **Colectores de baja temperatura.** Proveen calor útil a temperaturas menores de 65° C mediante absolvedores metálicos o no metálicos para aplicaciones tales como calentamiento de piscinas, calentamiento de agua para baño doméstico y, en general, para todas aquellas actividades industriales en las que el calor de proceso no es mayor a 60° C, por ejemplo la pasteurización, el lavado textil, etc.
- **Colectores de temperatura media.** Son los dispositivos que concentran la radiación solar para entregar calor útil a mayor temperatura, usualmente entre los 100 y 300° C. En esta categoría se tienen a los concentradores estacionarios y a los canales parabólicos, todos ellos efectúan la concentración mediante espejos dirigidos hacia un receptor de menor tamaño. Tienen el inconveniente de trabajar solamente con la componente directa de la radiación solar por lo que su utilización queda restringida a zonas de alta insolación.
- **Colectores de alta temperatura.** Existen en tres tipos diferentes: los colectores de plato parabólico, la nueva generación de canal parabólico y los sistemas de torre central. Operan a temperaturas mayores a los 500° C y se usan para generar electricidad y transmitirla a la red eléctrica; en algunos países estos sistemas son operados por productores independientes y se instalan en regiones donde las posibilidades de días nublados son remotas.

2.4.6.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

El principio fotovoltaico fue descubierto por el físico francés Edmund Becquerel en 1839 al iluminar el electrodo de una célula electrolítica con electrolito poco conductor. Durante los años 1880, las primeras células fotovoltaicas eran fabricadas con Selenio y solamente conseguían entre el 1-2% de eficiencia de conversión. Los principios cuánticos desarrollados en los años 1920 y 30, fundamentaron el presente modo de entender el fenómeno fotovoltaico.

El método Czochralski de 1918 supuso uno de los mayores avances, que permitió en la década 1940-50 la obtención de monocristales de Si con la suficiente pureza para el desarrollo de células solares (junto con transistores y diodos). Las células solares están basadas en los mismos mecanismos físicos que los transistores y

dispositivos cuánticos, y se desarrollan bajo el impulso de la investigación espacial en los años 50-60 como alternativa a los generadores de isótopos radioactivos de los satélites.

La electricidad producida por un generador fotovoltaico es en corriente continua, y sus características instantáneas (intensidad y tensión) varían con la irradiancia (intensidad energética) de la radiación solar que ilumina las células, y con la temperatura ambiente. Mediante diferentes equipos electrónicos, la electricidad generada se puede transformar en corriente alterna, con las mismas características que la electricidad de la red convencional.

Para que un sistema fotovoltaico pueda ser conectado a la red eléctrica se necesita transformar la corriente continua producida por un generador solar fotovoltaico en corriente alterna con las mismas características que la de la red eléctrica. Este proceso lo realiza un inversor.

En los **sistemas fotovoltaicos conectados**, toda la energía producida se inyecta en la red eléctrica, por lo que no requiere ningún sistema de acumulación de energía (baterías), con lo cual son más baratos y fiables. Su principal ventaja es la ausencia de los problemas derivados del uso de baterías (conservación, descargas limitadas...) y la continuidad del suministro eléctrico aún en caso de avería.

Los **sistemas fotovoltaicos aislados**, por el hecho de no estar conectados a la red eléctrica, normalmente están equipados con sistemas de acumulación de energía. Dado que el sistema fotovoltaico sólo puede proporcionar energía durante el día, es necesario acumular parte de esa energía, para que pueda ser utilizada en momentos de radiación solar reducida o durante la noche.

Además, es necesario un regulador de tensión, que sirve fundamentalmente para preservar los acumuladores de un exceso de carga por el generador fotovoltaico y de la descarga por el exceso de uso. Ambas condiciones son perjudiciales para el correcto funcionamiento y reducen la vida útil de las baterías.

2.5 GRUPOS ELECTRÓGENOS

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Actualmente se viene usando como combustible para estos grupos electrógenos el diésel N°2, que es un combustible no renovable, por ser un combustible fósil, pero desde el año 2011, el diésel N°2 ya está siendo comercializado con 5% de Biodiesel, que es un combustible renovable.

Los grupos electrógenos son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países puede obligar a instalar un grupo electrógeno en lugares en los que haya grandes densidades de personas (centros comerciales, restaurantes, edificios administrativos, etc.)

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico, generalmente en zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia, hospitales, fábricas, etc., que a falta de energía eléctrica de red, necesiten de otra fuente de energía alterna para abastecerse.

2.5.1 PARTES DE UN GRUPO ELECTRÓGENO:

- **Motor.** El motor representa la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe dos tipos de motores: motores de gasolina y de gasoil (diésel). Generalmente los motores diésel son los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas.
- **Regulación del motor.** El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor está directamente relacionada con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la potencia de salida.
- **Sistema eléctrico del motor.** El sistema eléctrico del motor es de 12 V o 24 V, negativo a masa. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, una/s batería/s, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor.

Normalmente, un motor dispone de un mano contacto de presión de aceite, un termo contacto de temperatura y de un contacto en el alternador de carga del motor para detectar un fallo de carga en la batería.

- **Sistema de refrigeración.** El sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, aceite o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de refrigeración por agua/aceite consta de un radiador, un ventilador interior para enfriar sus propios componentes.
- **Alternador.** La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador apantallado, protegido contra salpicaduras, auto excitado, autorregulado y sin escobillas acoplado con precisión al motor, aunque también se pueden acoplar alternadores con escobillas para aquellos grupos cuyo funcionamiento vaya a ser limitado y, en ninguna circunstancia, forzado a regímenes mayores.
- **Depósito de combustible y bancada.** El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una bancada de acero de gran resistencia La bancada incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga.
- **Aislamiento de la vibración.** El grupo electrógeno está dotado de soportes anti vibrantes diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el grupo motor-alternador. Estos aisladores están colocados entre la base del motor, del alternador, del cuadro de mando y la bancada.
- **Silenciador y sistema de escape.** El silenciador va instalado al motor para reducir la emisión de ruido.
- **Sistema de control.** Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar el funcionamiento y salida del grupo y para protegerlo contra posibles fallos en el funcionamiento. El manual del sistema de control proporciona información detallada del sistema que está instalado en el grupo electrógeno.

- **Interruptor automático de salida.** Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático de salida adecuado para el modelo y régimen de salida del grupo electrógeno con control manual. Para grupos electrógenos con control automático se protege el alternador mediante contactores adecuados para el modelo adecuado y régimen de salida.
- **Otros accesorios instalables en un grupo electrógeno.** Además de lo mencionado anteriormente, existen otros dispositivos que nos ayudan a controlar y mantener, de forma automática, el correcto funcionamiento del mismo. Para la regulación automática de la velocidad del motor se emplean una tarjeta electrónica de control para la señal de entrada "pick-up" y salida del "actuador".

El pick-up es un dispositivo magnético que se instala justo en el engranaje situado en el motor, y éste, a su vez, está acoplado al engranaje del motor de arranque. El pick-up detecta la velocidad del motor, produce una salida de voltaje debido al movimiento del engranaje que se mueve a través del campo magnético de la punta del pick-up, por lo tanto, debe haber una correcta distancia entre la punta del pick-up y el engranaje del motor.

El actuador sirve para controlar la velocidad del motor en condiciones de carga. Cuando la carga es muy elevada la velocidad del motor aumenta para proporcionar la potencia requerida y, cuando la carga es baja, la velocidad disminuye, es decir, el fundamento del actuador es controlar de forma automática el régimen de velocidad del motor sin aceleraciones bruscas, generando la potencia del motor de forma continua. Normalmente el actuador se acopla al dispositivo de entrada del combustible (diésel) del motor.

Cuando el grupo se encuentra en un lugar muy apartado del operario y funciona las 24 horas del día es necesario instalar un mecanismo para restablecer el combustible gastado. Consta de los siguientes elementos:

Bomba de trasiego. Es un motor eléctrico de 220 VCA en el que va acoplado una bomba que es la encargada de suministrar el combustible al depósito. Una boya

indicadora de nivel máximo y nivel mínimo detecta un nivel muy bajo de combustible en el depósito y activa la bomba de trasiego.

2.5.2 TIPOS DE GENERADORES

Hay dos tipos de generadores: Generador de Corriente Alterna y Generador de Corriente Continua.

Generadores síncronos trifásicos. Se usan prácticamente para generar bloques importantes de potencia, los niveles de voltaje de generación están entre 110 voltios, 220 voltios, 380 voltios en baja tensión. También se tienen generadores que generan a 13.8 KV a 28 KV, los cuales se producen en las represas.

2.5.2.1 COMPONENTES DE UN GENERADOR SÍNCRONO:

- **Inducido (estator):** es el bobinado que se encuentra en el estator en el cual se induce la tensión. El estator consiste en un hierro de buena calidad eléctrica, en forma laminada para minimizar las pérdidas por corrientes parásitas y de Foucault. Dicho estator posee ranuras en las cuales se alojan las bobinas del inducido.
- **Inductor (rotor):** es el encargado de crear el campo magnético, puede ser un imán o un electroimán. Existen dos tipos de rotor: Con polos salientes y con rotor cilíndrico. El generador con rotor de polos salientes tiene una alimentación de corriente directa en el devanado de campo del rotor, para producir el campo magnético. Esta corriente directa es producida por un generador de corriente continua o una batería. El rotor del generador se puede considerar en esencia como un gran electroimán.

Máquina motriz: es la encargada de hacer girar el inductor y crear de esa manera un campo magnético variable que abarque todo el bobinado inducido y de esa manera inducir una tensión en el bobinado inducido. La máquina motriz puede ser una máquina térmica, hidráulica, a combustión, eólica, etc.

2.5.3 CLASIFICACIÓN DE GRUPOS ELECTRÓGENOS:

Los grupos electrógenos con motores de combustión interna se clasifican como sigue:

a) De acuerdo al tipo de combustible:

- Con motor a gas (LP) o gas natural
- Con motor a gasolina.
- Con motor a diésel.
- Sistema Bifuel (diésel/gas)

b) De acuerdo a su instalación

- Estacionarias
- Móviles.

c) Por su operación

- Manual
- Semiautomática
- Automática (ATS)
- Automática (sincronía/peak shaving)

d) Por su aplicación

- Continua. Los grupos electrógenos para servicio continuo, se aplican en aquellos lugares en donde no hay energía eléctrica por parte de la compañía suministradora de éste tipo, o bien en donde es indispensable una continuidad estricta, tales como: en una radio transmisora, un centro de cómputo, etc.
- Los grupos electrógenos para servicio de emergencia, se utilizan en los sistemas de distribución modernos que usan frecuentemente dos o más fuentes de alimentación. Su aplicación es por razones de seguridad y/o economía de las instalaciones en donde es esencial la continuidad del servicio eléctrico, por ejemplo: Instalación en hospitales, en áreas de cirugía, recuperación, terapia y cuidado intensivo, laboratorios, salas de tratamiento, etc.

2.6 EL BIODIESEL A PARTIR DE SEMILLAS DE *Jatropha curcas* (Piñón)

En el Perú se ha instalado la primera planta de producción de biodiesel, a partir de aceite de la *Jatropha curcas*, la misma que está ubicada a 33.5 Km. de la ciudad de Lima, la propietaria de la planta es la empresa Heaven Petroleum Operators S.A.C, quienes cultivaran 50 mil hectáreas de *Jatropha curcas* en las tierras eriazas del Perú.

Entre las muchas ventajas del aceite producido por las semillas de *Jatropha curcas*, que no es comestible para los seres humanos por tóxico, es que tiene un bajo contenido en azufre, lo que posibilita el uso del biodiesel derivado en los motores diésel más modernos. Además, es capaz de desarrollarse perfectamente en los suelos más desérticos bajo las condiciones meteorológicas más duras.

El país indio ya cuenta con 1,000 hectáreas de terreno cultivado con arbustos de *Jatropha curcas* y su plan es extenderlo hasta las 400,000 hectáreas. Si se alcanzara producir en esta extensión de terreno, la India produciría un total de 756,800 millones de litros de aceite al año.

2.6.1 DEFINICIÓN DEL BIODIESEL

Según Next fuel. (2008) La ASTM (American Society for Testing and Materials) define el Biodiesel como “*el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diésel*”.

Se presenta en estado líquido y se obtiene a partir de recursos renovables como aceites vegetales de soja, colza/canola, girasol, palma y otros, como así también de grasas animales, a través de un proceso denominado Transesterificación.

La Transesterificación básicamente consiste en el mezclado del aceite vegetal o grasas con un alcohol (generalmente Metanol) y un álcali (soda cáustica). Al cabo de un tiempo de reposo, se separa por decantación el biodiesel de su subproducto glicerol.

2.6.2 EVOLUCIÓN HISTÓRICA

“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” Rudolph Diésel.

Fines de Siglo XIX. Rudolf Diésel (1858-1913) un ingeniero alemán, inventa el motor de combustión que utiliza fuel oil y a partir de allí implementó tempranas versiones de una máquina que utilizaba aceite de maní como energía.

1970. El biodiesel se desarrolló de forma significativa a raíz de la crisis energética y el elevado costo del petróleo

1982. En Austria y Alemania, se llevaron a cabo las primeras pruebas técnicas con este combustible vegetal

1985. En Silberberg (Austria) se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de las semillas de colza o canola

Actualmente Alemania, Austria, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Malasia y Suecia son pioneros en la producción, ensayo y uso de biodiesel en automóviles.

2.6.3 BENEFICIOS ECOLÓGICOS

- Proviene de un recurso renovable
- Es bio-degradable
- Es menos contaminante que el combustible mineral
- Reduce las partículas (smoke) en más de 50% y las emisiones de CO₂.
- Está libre de sulfuro, benceno y aromatizantes potencialmente cancerígenos.
- Posee productos del residuo de su proceso como glicerina y fertilizantes orgánicos.

2.6.4 BENEFICIOS ECONÓMICOS

- La producción de biodiesel es alentada con importantes incentivos y exenciones fiscales a nivel nacional e internacional.
- El Protocolo de Kyoto financia la inversión otorgando “créditos de carbono” a quienes logren reducir las emisiones de CO₂.
- Es un combustible seguro en su manejo y almacenamiento.

- Utiliza las mismas instalaciones que las empleadas para el petróleo diésel.
- Posibilita su propia producción en ciclo completo (cosecha de oleaginosas – prensado de aceite – producción de biodiesel) reduciendo costos e intermediarios.
- La comercialización de los subproductos (torta, glicerol, etc.) constituye un negocio accesorio y rentable.

2.6.5 BENEFICIOS MECÁNICOS

- Incrementa la eficiencia y duplica la durabilidad del motor, mejorando su ignición y lubricidad.
- Alto flash point aproximadamente 130°C (diésel 70°C)
- Posee un importante poder lubricante, por lo que puede ser considerado un aditivo para mejorar la lubricidad.

2.6.6 NORMAS PARA EL BIODIESEL

Los usuarios de Biodiesel, los constructores de motores; así como de las demás partes intervinientes, necesitan del desarrollo de normas confiables que den seguridad para facilitar su comercialización.

Naciones desarrolladas como Austria (ORORM C 1190), Alemania (DIN V51606), Norma Europea CEN14214, EE.UU. (ASTM D-6751) y la Norma Brasileira (ANP 255) han establecido normas similares para el Biodiesel con especificaciones particulares como por ejemplo, la cuantificación de glicerol, número de cetano, etc. (ver anexos N°9,10, 11 y 12)

En el Perú con el Decreto Supremo N° 013-2005-EM se aprobó el Reglamento de la Ley de promoción del mercado de biocombustibles, promulgado el 30 de marzo de 2005.

2.6.7 TIPOS DE BIODIESEL

Se puede obtener biodiesel de varias fuentes:

- De plantas oleaginosas, como el cártamo, el girasol, soya, maní, higuera, la *jatropha curcas*, coco, sachá inchi y la palma aceitera

- De grasa animal
- De los aceites alimenticios usados

El biodiesel puede ser empleado por cualquier vehículo diésel, ya que su composición y características son muy similares a las del diésel fósil. Sin embargo, su uso principal es como aditivo del diésel fósil porque contribuye a disminuir la emisión de contaminantes como el monóxido de carbono y los hidrocarburos volátiles.

Por un lado existen los derivados de aceites vegetales con un alto contenido de compuestos saturados, bajos Índices de Viscosidad (IV) estos poseen un CN (Cetane number) mayor, mientras que sus propiedades a bajas temperaturas son peores.

Por otro lado se conocen Biodiesel procedentes de aceites vegetales con un alto contenido de compuestos insaturados, (alto Índice de viscosidad) que poseen un menor CN, mientras que sus propiedades a bajas temperaturas son mejores.

Consiguientemente, los CN y los IVs son inversamente proporcionales. Al agregar a las normas un máximo de IVs, se estaría restringiendo el mínimo CN.

Considerando que la mayoría de los ésteres tienen un CN mayor que los aceites vegetales y los combustibles Diésel convencionales, los mismos superan sin ningún tipo de inconvenientes el mínimo impuesto por ASTM (CN mín = 40).

Un argumento contrario a la inclusión del IV en las normas de Biodiesel, es que distintas composiciones de ácidos grasos dan un mismo IV. Por ejemplo, metil oleato puro tiene un mismo IV que la mezcla 1 a 1 de metilsteareato y metilinooleato

El IV desconoce factores estructurales en los compuestos grasos donde el CN depende de la posición del doble enlace, longitud de la cadena, etc.

Aumentar el CN de los aceites de algunas plantas mediante el desarrollo de nuevos aditivos que son más efectivos a pesar de su alto grado de insaturación, es una alternativa posible.

2.6.8 ESTÁNDARES DEL BIODIESEL

La American Society for Testing and Materials (ASTM) ha especificado para asegurar el correcto funcionamiento de los combustibles, distintas pruebas como las que se detallan a continuación:

Flash Point

Resulta importantísimo por los requerimientos legales en lo que respecta a la seguridad en el manejo y almacenamiento del mismo.

Punto de enturbiamiento (Cloud Point)

Se define así el comportamiento del combustible en condiciones climáticas a baja temperatura reconociéndose los grados a partir de los cuales comienzan a formarse dentro del combustible, pequeños cristales.

Viscosidad

Para algunos motores la especificación de un mínimo de viscosidad que puede generarse debido a la pérdida de potencia por parte de la bomba inyectora y pérdidas de combustible en el inyector, puede llegar a ser un gran beneficio.

Por cuestiones de diseño y tamaño de los motores, y las características propias del sistema de inyección resulta necesario un límite admisible máximo que el del gas oil, por lo que las mezclas de este último con Biodiesel, reducen la viscosidad del mismo.

Sulfuros

Afectan principalmente a la performance de los sistemas de control de emisiones. Los efectos de la presencia de sulfuros pueden variar considerablemente dependiendo en gran medida de las condiciones de operación.

Cenizas Sulfatadas

La formación de cenizas puede presentarse en tres formas diferentes:

- Sólidos abrasivos

- Jabones metálicos solubles

- Catalizador remanente

Es importante rescatar que los sólidos abrasivos y el catalizador remanente pueden provocar un desgaste prematuro del inyector, la bomba inyectora, pistones, aros y la formación de depósitos en el motor

Corrosión al Cobre

Es importante ya que indica la presencia de ácidos o contenido de sulfuros que puedan provocar corrosión en el motor.

Residuo Carbonoso

Es un indicador de la tendencia del combustible a formar depósitos de carbono.

Número ácido

Determina el nivel de ácidos grasos libres que se encuentran en el combustible. Los depósitos y la corrosión son evitables con la eliminación de los mismos.

Número de Cetanos

Para evaluar la calidad de ignición del combustible y la presencia de humos negros y rudeza de marcha, es imprescindible observar el número de cetanos.

Que se requiera mayor o menor número de cetanos depende por un lado del diseño, tamaño, variación de carga y velocidad y por otro lado de las condiciones atmosféricas.

Glicerina libre

Un alto contenido de la misma dentro del combustible bloquea los inyectores y obstruye los conductos del mismo combustible.

Glicerina Total

Es una señal del total de glicerina en el combustible, tanto libre como no libre.

Si su nivel es bajo, asegura que ha habido una alta conversión de aceites o grasas en esterios monoalquílicos.

Si su nivel de mono (VWER)-, di- y triglicéridos es alto, puede bloquear los inyectoros y afectar la performance en climas fríos.

2.6.9 CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DEL PIÑÓN (*Jatropha curcas*)

El Piñón (*Jatropha curcas*) es un arbusto o árbol chico de la familia Euphorbiaceae que muestra una gran resistencia a la sequía. Es nativo de América Central y México, pero hoy en día se encuentra en toda la zona tropical y subtropical. Crece en muchas zonas del Perú.

Cuadro 6: Taxonomía del piñón.

Taxonomía	Nombre científico
Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Euphorbiales
Familia	Euphorbiaceae
Genero	<i>Jatropha</i>
Especie	Curcas

FUENTE: ficha técnica de *Jatropha curcas*- Cultivos energéticos SRL- Argentina

Jatropha curcas, conocida en nuestro medio como “Piñón” o “piñón de tempate” o “*Jatropa*”, es una Euphorbiácea que tiene propiedades medicinales, nativa de América Central, es una planta muy rustica, que crece en climas tropicales y subtropicales, fue difundida a Asia y África por comerciantes portugueses, como planta para cercos y hoy en día se ha expandido por todo el mundo.

Las semillas contienen un aceite no comestible, que se puede utilizar directamente para aprovisionar de combustible lámparas y motores de combustión o se puede

transformar en biodiesel, mediante un proceso de transesterificación. Además se usa para fabricar jabones; también se puede obtener colorante de la semilla.

La *Jatropha* resiste un alto grado la sequía y prospera con apenas 250 a 600 mm de lluvia al año. El uso de pesticidas no es importante, gracias a las características pesticidas y fungicidas de la misma planta. La planta puede vivir hasta 50 años.

Se encuentra distribuida desde América Central y en el Perú se le encuentra en estado silvestre en diversos lugares de San Martín, la zona norte del país y en algunos valles de la costa, pero hay pocos estudios nacionales sobre este cultivo.

El arbusto del piñón alcanza una altura de 5 m y muestra un crecimiento articulado con discontinuidad morfológica en cada incremento. En condiciones favorables puede crecer hasta 8 m de altura.

En épocas de sequía prolongadas pierde sus hojas. De la semilla emergente, por lo general, crecen cinco raíces: una vertical y cuatro horizontales. En plantas vegetativamente producidas (por estaca) no se forma una raíz vertical.

La Planta es monoica y sus flores son unisexuales. La polinización es facilitada por insecto. Después de la polinización se forma una fruta elíptica de 2.5 a 4 cm de largo, casi 3 cm de ancho y normalmente con 2 o 3 semillas.

Las semillas maduras son de color negro. Como es característico para la familia Euphorbiaceae, al cortar las ramas del piñón sale un látex blanco. La planta y especialmente las semillas son tóxicas, contienen alcaloide curcina y diterpenos.

2.6.10 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL DEL PIÑÓN

2.6.10.1 EXTRACCIÓN DE ACEITE

El proceso de extracción del aceite se realiza básicamente siguiendo el siguiente proceso: pelado, molienda y prensado de las capsulas de la *Jatropha curcas*. Las semillas se pelan y muelen, prensándose en caliente a 100°C con una presión de 7,000

lb. El resultado es un producto líquido. En nuestro caso la extracción fue en prensa manual en frío.

A gran escala la extracción industrial se puede realizar utilizando solventes orgánicos, que dan mejor resultado, como se puede observar en el cuadro siguiente:

Cuadro 7: Modos de extracción del aceite de *Jatropha curcas*.

Materia prima	<i>Jatropha curcas</i>
Eficiencia de extracción de aceite :	
Extracción mecánica	70%
Extracción por solventes	96%
Rendimiento del aceite :	
Extracción mecánica	4.1 kilos por litro 553 litros por hectárea
Extracción por solventes	2.7 kilos por litro 730 litros por hectárea

FUENTE: ficha técnica de *Jatropha curcas*-cultivos energéticos SRL- Argentina

2.6.10.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ACEITE

El aceite del piñón es un aceite más fluido que el aceite de ricino, pero no se disuelve fácilmente con el alcohol, es de color amarillo claro, adquiriendo un tinte rojizo por acción del aire. El olor y sabor característicos y desagradables.

Cuadro 8: Propiedades físicas del aceite de piñón.

Propiedades físicas del aceite de piñón	Valores
Peso específico a 15°C	0.919 – 0.924
Índice de refracción a 25°C	1.468 – 1.469
Punto de solidificación	- 8°C
Índice de saponificación	1.90 – 210
Índice de yodo	98 – 110
Índice de acidez oleica	3.5 – 4.5
Materia insaponificables	0.5 – 1%

FUENTE: ficha técnica de *jatropha curcas*- Cultivos energéticos SRL- Argentina

Cuadro 9: Composición química del aceite de piñón.

Composición química del aceite de piñón	Valores
Ácidos grasos sólidos (palmitito y mirística)	10%
Ácido oleico	45%
Ácido linoleico	43%
Otros ácidos	2%

FUENTE: ficha técnica de *Jatropha curcas*- Cultivos energéticos SRL- Argentina

2.7 CONTAMINACIÓN AMBIENTAL

La contaminación ambiental es la alteración del ambiente producida principalmente por acción del hombre, provenientes por varios factores como: emisión de gases tóxicos, derrame de residuos domésticos y urbanos, ruidos; tanto en suelos como en cuerpos de agua.

Para poder conocer los contaminantes del aire del ambiente es necesario saber en primer lugar la composición del aire limpio, el mismo que puede observarse en el cuadro siguiente:

Cuadro 10: Composición del aire limpio.

Componente	% en volumen	ppm
Nitrógeno (N ₂)	78.084	
Oxígeno (O ₂)	20.984	
Argón (Ar)	0.934	
Vapor de agua (H ₂ O)	0.01-7	
Dióxido de carbono (CO ₂)	0.035	
Neón (Ne)		18
Helio (He)		5
Hidrogeno (H)		0.5

FUENTE: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) 1998

2.7.1 FUENTES DE EMISIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

- a. Fenómenos naturales, son aquellos que se da en la naturaleza y no pueden ser controlados por el hombre, éstos a su vez pueden ser de los siguientes tipos:
 - Fenómenos geo-químicos, conformados por la llovizna de los océanos y grandes lagos; volcanes, incendios forestales y polvo llevado por el viento.
 - Fenómenos biológicos, des nitrificación bacteriana y putrefacción de la materia orgánica.
 - Fenómenos atmosféricos, los rayos.

- b. Actividades humanas o antrópicos, entre otros tenemos la quema de biomasa, producción de energía eléctrica, fertilización y cultivo del suelo, calentadores de agua y del ambiente, incineradores, procesos industriales y tráfico vehicular
 - fuentes puntuales, y fuentes de áreas, producido por las emisiones de las chimeneas de las casas y fábricas; así como la quema o rozo y la aplicación de fertilizantes y humos de la ciudad.

 - fuentes móviles, producido por las diversas partes de los vehículos automotores, tales como: evaporación del carburador y del depósito de combustible, ruido y calor, partículas de jebe de los neumáticos, partículas de asbesto de las llantas, gases del escape.

- c. Elementos contaminantes del aire
Como se ha indicado líneas arriba, las fuentes de contaminación del aire son de diferentes fuentes, por lo que las cantidades que se dan son las que se indican el siguiente cuadro en partes por billón (ppb)

Cuadro 11: Elementos contaminantes del aire.

Parámetro	Concentración en ppb		Tiempo de Residencia Aproximado
	Atmosfera limpia	Atmosfera contaminada	
Monóxido de carbono (CO)	120	1000-10 000	65 días
Dióxido de carbono (CO ₂)	320 000	400 000	15 años
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.2-10	20-200	40 días
Óxidos de nitrógeno (NO)	0.01-0.6	50-750	1 día
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	0.1-1	50-250	1 día
HNO ₂	0.001	1-8	
HNO ₃	0.02-0.3	3-50	1 día
Ozono (O ₃)	20-80	100-500	
NH ₃	1-6	10-25	20 días
Metano (CH ₄)	1 500	2 500	8-10 años
N ₂ O	300		10-150 años
H ₂ S	0.2		
Plomo (Pb)	5x10 ⁻³	0.5-3 µg/m ³	
PARTICULAS		>100g/m ³	

FUENTE: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) 1998

2.7.2 ESTÁNDAR DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA)

Según el artículo 63° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, D.S N°008-2005-PCM, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, 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. Valores del ECA y LMP del aire se dio con el DS N°003-2008-MINAM.

2.7.3 LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE (LMP)

Según el artículo 64° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, D.S N°008-2005-PCM, 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. Su cumplimiento es exigible legalmente; valores del LMP del aire se dio con el DS N°003-2008-MINAM.

2.7.4 CONTAMINANTES PRIMARIOS

Son los contaminantes químicos del aire que tienen efectos para la salud y el medio ambiente; así los podemos ver en el siguiente cuadro:

Cuadro 12: Contaminantes primarios del aire.

Contami- nante	Fuentes antropogénicas	Permanencia	Efectos y consecuencias
CO	Combustión incompleta	2 meses	Enfermedades cardiovasculares y neuroconductuales
NO ₂	Significativo en la niebla fotoquímica y deposición de ácido.		Problemas respiratorios
NO _x	Gases del escape de vehículos y combustión	1 día	Efectos en salud y medio ambiente
SO ₂	Combustión de carbón y otros combustibles fósiles (con azufre)	De horas a días	Aumento de enfermedades respiratorias, precursor de lluvia ácida.
PM 10	Combustión incompleta. Trafico, viviendas, incineración, minería, centrales térmicas.	5 a 10 días	Aumento de enfermedades respiratorias, visibilidad reducida.
PM 2.5	Quema de combustible, escape de motores diésel.	5 a 10 días	Aumento de enfermedades respiratorias y cardiopulmonares, visibilidad reducida.
Pb	Gasolina con plomo, pinturas, minería.	5 a 10 días	Daño hepático y cerebral, problemas de aprendizaje.

FUENTE: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) 1998

2.7.5 MATERIAL PARTICULADO

Es la materia dispersada en la atmosfera y condensada en forma sólida o líquida, cuyas características son:

- Las partículas son los contaminantes del aire más peligrosos para la salud.
- Existen documentación sobre efectos respiratorios y cardiovasculares.
- Es muy difícil cumplir con los valores de las normas de calidad.

2.7.5.1 COMPOSICIÓN DEL MATERIAL PARTICULADO

- a. partículas inertes, que a su vez pueden ser de origen orgánica e inorgánica.
 - Composición orgánica: vegetal (madera, algodón, pelos, epidermis, etc.)
 - Composición inorgánica: carbonatos, cloruros, sulfatos, sílice, etc.
- b. partículas vivas: polen, esporas, virus, bacterias, etc.

2.7.5.2 TAMAÑO DEL MATERIAL PARTICULADO.

Fundamentalmente se puede medir como número de partículas o masa de partículas:

- Número de partículas, para tener una idea de la calidad del aire, podemos indicar: 1 partícula por cc en un verano limpio en el ártico y >1 000 000 de partículas por cc en ciudades contaminadas.
- Masa de partículas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), que son más fáciles de ser medidos y evaluados; así tenemos:
 - PTS (diámetro < 100 μm)
 - PM₁₀ (diámetro < 10 μm)
 - PM_{2.5} (diámetro < 2.5 μm)
 - PM₁ (diámetro < 1 μm)

2.8 EFECTOS AMBIENTALES DE LOS COMBUSTIBLES FÓSILES

2.8.1 ÓXIDOS DE AZUFRE.

Pueden ser dióxido de azufre y trióxido de azufre, cuyas características de cada uno ellos son:

- a. Dióxido de azufre (SO₂), es un gas incoloro, de olor picante e irritante en concentraciones altas. Se desplaza rápidamente en la atmosfera (aun siendo más pesado que el aire), gas muy estable.
- b. Trióxido de azufre (SO₃), es un gas incoloro y muy reactivo que condensa fácilmente, en condiciones normales, no se encuentra en la atmosfera, pues reacciona rápidamente con el agua atmosférica, formando ácido sulfúrico.
La emisión de SO₂ (gas), puede generar material particulado (sulfatos), contaminantes secundarios extremadamente dañinos a la salud.
- c. Principales fuentes; combustión de combustibles fósiles (transporte y fuentes industriales) debido al contenido de azufre en los combustibles; procesos industriales, como la fundición de metales sulfurosos.
- d. Efectos en la Salud:
 - Irritación del tracto respiratorio
 - Bronquitis
 - Bronconstricción, agitación, respiración corta.
 - Reducción en las defensas contra virus de gripe
 - Exacerba enfermedades respiratorias.
 - Congestiona conductos bronquiales en asmáticos.

2.8.2 MONÓXIDO DE CARBONO (CO).

Es el contaminante del aire más abundante en la capa inferior de la atmosfera, sobre todo en el entorno de las grandes ciudades, es un gas incoloro, inodoro e insípido.

- a. Principales Fuentes; combustión incompleta de combustibles, disociación del CO₂ a altas temperaturas, proceso de producción y degradación de la clorofila en las plantas.
- b. Efectos en la Salud:
 - Reduce el transporte de oxígeno por la sangre
 - Afecta la percepción y el razonamiento

- En afecciones cardiacas, produce angina de pecho.
- Decaen las funciones mentales y visuales.

2.8.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO₂):

- a. Principales Fuentes; combustión a altas temperaturas en vehículos motorizados, plantas eléctricas, procesos de obtención de calor.
- b. Efectos en la salud:
 - es altamente toxico, irrita la piel y las mucosas
 - a bajas concentraciones, por periodos largos puede causar: cambios en el tejido pulmonar (enfisema), daños en paredes capilares de tejido pulmonar (edema); síntomas de intoxicación aguda; lagrimeo, tos, disnea y muerte.

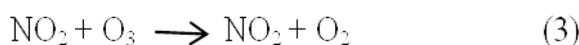
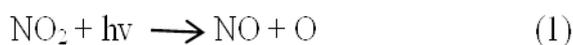
2.8.4 OZONO (O₃)

La tierra está rodeada por una capa fina de gas llamado Ozono. Esta nos protege de los rayos ultravioleta del sol y sin su protección, se pueden generar enfermedades como cáncer a la piel o quemaduras graves. El agotamiento de la capa de ozono llevará a la reducción de su capacidad protectora y, en consecuencia, a una mayor exposición a la radiación.

El día internacional de la capa de ozono fue instituido por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) desde 1995 y se celebra cada 16 de setiembre. Esta fecha fue elegida en conmemoración al protocolo de Montreal en el que se discutió sobre la eliminación gradual y obligatoria de las sustancias que lo afectan. Además, instituir este día es recordar a los gobiernos de todo el mundo a cumplir con sus obligaciones ecológicas.

- a. Principales Fuentes; es un contaminante secundario, que se forma a través de una reacción química de NO_x y HC con acción de la radiación solar (luz ultravioleta), es el principal ingrediente del smog urbano.
- b. Efectos en la salud, puede destruir tejidos humanos (los oxida), afecta la capacidad de respirar y provoca falta de aire, dolor en el pecho y estornudos; aumenta la susceptibilidad a las infecciones bacterianas.

c. Formación del Ozono, se da según la siguiente ecuación:



Mientras que el NO_2 participa en la formación del ozono (ecuaciones 1 y 2), el NO lo destruye para formar oxígeno y dióxido de nitrógeno (ecuación 3).

Por esta razón los niveles de ozono no son tan altos en áreas urbanas (donde los altos niveles de NO son emitidos desde vehículos) como en áreas rurales. Como los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos son transportados fuera de las áreas urbanas, el NO que no participó en reacciones de destrucción del ozono es oxidado a NO_2 , el cual, participa en la formación de ozono y que conjuntamente con el ozono ya formado pueden persistir durante varios días y ser trasladados cientos de kilómetros contaminando otras regiones.

Desde que el ozono mismo es foto disociado, al dividirse por acción de la luz solar, para formar radicales libres (ecuación 2), este promueve la oxidación química y cataliza así su propia formación (siendo un ejemplo de auto catálisis).

2.8.5 PLOMO (PB)

- a. Principales Fuentes; fábrica de baterías, pintura y vidrio; fundiciones no ferrosas y minas que extraen plomo
- b. Efectos en la salud, según el nivel de plomo en la sangre afecta a niños y adultos de diferentes formas, como hipertensión en adultos, menor crecimiento y desarrollo en niños, mayor presión sistólica en adultos , cólicos severos y anemia en niños, encefalopatía en niños y adultos y hasta la muerte en niños.
- c. Ciudades con concentraciones altas: La Oroya; Callao-Puerto nuevo; Cerro de Pasco e Iquitos.

2.8.6 SULFURO DE HIDROGENO (H₂S)

- a. Principales Fuentes; descomposición de materia orgánica y algunas industrias (alimentos y pesquera); emanaciones gaseosas naturales (pantanos, aguas estancadas); instalaciones de clarificación de aguas servidas.
- b. Efectos en la salud; irrita los ojos y vías respiratorias, toxico para nervios y células desde concentraciones 100 a 150 µg/m³; produce catarro bronquial y nauseas; pérdida del sentido del olfato, convulsiones, etc.

2.9 LOS BIOCARBURANTES (BIOCOMBUSTIBLES)

En el Perú se dio el cambio de la matriz energética a partir del 2007, mediante el desarrollo de las fuentes primarias disponibles en el país, con la idea fundamental de consumir lo que tenemos en abundancia y dejar de consumir lo que el país no produce e importa (principalmente diésel). Dentro de ella promover el desarrollo sostenible de las fuentes renovables de energía: Hidro energía, energía geotérmica, eólica, solar y Biocombustibles.

2.9.1 REGULACIONES Y APLICACIONES

El desarrollo de los biocombustibles en el Perú se dio con carácter multisectorial, donde han venido interviniendo las siguientes instituciones: Ministerio de Agricultura, Ministerio de la Producción, Ministerio de Energía y Minas con su Dirección General de Hidrocarburos y Osinergmin. Para ello se dieron los siguientes dispositivos:

- Ley N° 28054, Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles.
- D.S. N° 013-2005 EM Reglamento de la Ley de Promoción del Mercado de Biocombustibles.
- D.S. N° 021-2007-EM Reglamento de Comercialización de Biocombustibles.

En el Reglamento, se fijó los alcances para la comercialización de los biocombustibles en el Perú, como:

- a. Nuevos productos: Diésel BX y los gasoholes.

b. Obligatoriedad en los porcentajes de mezcla

- Alcohol carburante (Etanol Anhidro desnaturalizado) en las gasolinas, y a partir del 2010 se debió usar el gasohol en todo el país, con 7.8% de alcohol carburante en el 92.2 % de gasolina.
- Biodiesel en el Diésel, según el Reglamento de comercialización indicado, se fijó que a partir del año 2009 será de uso obligatorio el Diésel B2, es decir 2% Biodiesel B100 en 98 % de Diésel 2 y a partir del año 2011 será de uso obligatorio el Diésel B5, es decir 5% de Biodiesel B100 en 95% de Diésel 2 (en reemplazo del Diésel B2)

2.9.2 SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LOS BIOCOMBUSTIBLES

Según reporte de FAO, indica que la disminución evidente de las reservas de petróleo, su directo impacto en la seguridad energética mundial y la latente problemática de la emisión de gases de efecto invernadero que inciden en el calentamiento global han generado un interés creciente en la búsqueda de fuentes de energía renovables o alternativas de menor impacto.

Específicamente se trata de obtener combustibles partiendo de recursos renovables como la biomasa proveniente de diferentes cultivos entre los que podemos citar: caña de azúcar, maíz, sorgo, yuca, palma de aceite, colza, soya, girasol, ricino, *jatropha curcas* y microalgas que son biocombustibles de segunda generación extraídos a partir de cultivos que no son fuentes de alimentos, con buenas alternativas de producción de biocarburantes, que permitirían disminuir cada año la dependencia de los combustibles fósiles y así mismo la emisión de gases que impactan negativamente el ecosistema.

En el Informe del Estado Mundial de la Agricultura y la Alimentación (SOFA 2008 por sus siglas en inglés) la FAO plantea una preocupación sobre el incremento de la producción de biocombustibles en los países en desarrollo que consiste en que se generaría mayor presión y competencia sobre los recursos naturales que ya son escasos, con consecuencias potencialmente negativas en materia social y medioambiental. Por otro lado si las tierras destinadas a la siembra de cultivos alimenticios se utilizan o si se reemplaza la finalidad original de estos cultivos hacia

la producción de biocombustibles, podría constituir un riesgo a mediano plazo para la seguridad alimentaria, implicaría un aumento en el desplazamiento de actividades agrícolas hacia tierras aún más marginales e, indirectamente, propiciarían un incremento en los precios de los alimentos en dicho plazo a causa de la escasez de los mismos.

La FAO, hace hincapié en que los biocombustibles son solamente una de las alternativas existentes para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y por ello es necesario generar esfuerzos que apunten a la potencialización de diferentes formas de energía renovables más rentables, sostenibles y más eficientes que representen mejores balances (positivos) en términos de emisión de gases, métodos más precisos de la transformación de la biomasa, conservación de energía y optimización de recursos, evitar la deforestación de las zonas amortiguadoras y la degradación de la tierra y mayor armonización de las políticas gubernamentales, nacionales internacionales que midan, evalúen y tomen decisiones frente a los riesgos del desarrollo e implementación de los biocombustibles.

2.9.3 BENEFICIOS AMBIENTALES

2.9.3.1 PROTOCOLO DE KYOTO,

Es el acuerdo institucional más importante en relación al Cambio climático, y se estableció en Kyoto (Japón) el 11 de diciembre de 1997, que tiene su origen en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático en su sede de New York, el 9 de mayo de 1992.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático busca “la estabilización de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático” y establece una estructura general para los esfuerzos intergubernamentales encaminados a resolver el desafío del cambio climático.

Reconoce que el sistema climático es un recurso compartido que puede verse dañado por todas las actividades (incluyendo las industriales) que emiten dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEIs).

Busca reducir las emisiones de GEIs de los principales países industrializados con el fin de que en el periodo que va de 2008 a 2012, esas emisiones descieran en 1.8% por debajo de las registradas en 1990. (Inicialmente deberían descender en 5.2%, pero en la cumbre de Bonn, 2001, se fijó en 1.8%). Básicamente se aplica a las emisiones de seis gases de Efecto Invernadero; dióxido de carbono CO₂, metano CH₄, óxido nitroso N₂O, hidrofluorocarbonos HCF, perfluorocarbonos PFC y hexafluoruro de azufre SF₆.

2.9.3.2 CALENTAMIENTO GLOBAL DEL PLANETA

De acuerdo a investigaciones científicas la temperatura en la superficie de la tierra se ha elevado en 0.6 °C, con un calentamiento acelerado en las pasadas dos décadas, este acelerado calentamiento es provocado íntegramente por las actividades humanas, tales como incendios forestales, actividades industriales, incremento del uso de motores de combustión interna en las diferentes actividades productivas, que vienen generando las emisiones de los seis gases de efecto invernadero.

El calentamiento global, está ocasionando una distorsión en el clima en todo el mundo, lo cual se traduce en inundaciones por efecto de las lluvias en muchas áreas de los continentes, disminución sustancial de las lluvias sobre la tierra en los trópicos y subtropicos, pero reforzado por el incremento de la demanda atmosférica con calentamiento, calentamiento de las aguas del mar, etc.

Según el IPCC. (2007), el calentamiento proyectado tiende a ser mayor en sobre los continentes en latitudes más altas del hemisferio norte, partes de los océanos Atlántico Norte y del Sur.

Por otro lado, el cambio climático está afectando a los patrones de trayectorias de tormentas, vientos y temperaturas, los huracanes en el Atlántico Norte se incrementan; así como las olas de calor se están incrementando, como fue las olas extremas de calor en Europa en el verano del 2003 y el decrecimiento de la cobertura de nieve y hielo en el mar Ártico, el mismo que decrece en 2.7% por década.

Según Baetting *et al.* (2007), los glaciales y nevados están retrocediendo y se incrementó desde los años 1990s, así como el área de nevados estacionales en el Hemisferio Norte ha disminuido en 7% desde 1901 a 1% año 2002. En América del Sur según el índice de vulnerabilidad, la parte Norte del mismo son las regiones más vulnerables al cambio climático, donde se encuentra las $\frac{3}{4}$ partes del Perú.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES

Cuadro 13: Materiales utilizados en las pruebas.

Equipos y medios de medición	Marca	Modelo	Características
Banco de pruebas (motor)	Lister		Potencia: 8.5 hp, 1800 rpm, diésel, enfriado por aire con medidor de combustible, made in England.
Generador síncrono de corriente alterna	Frapil	AG1M18	Velocidad de giro 1800 rpm, voltaje 380/220 voltios, 4.8 KW, frecuencia 60 Hz. Made in England.
Opacímetro	Pierburg	AVL	Made in germany
Cronometro digital	Casio		Made in Japan
Multímetro digital	Tektronix	TX3	True RMS multimeter
Pinza Amperimétrica	Clamp meter	266	
Tacómetro digital	Blue point	MT 139A	Rango de 0 a 2500 rpm
Balanza electronica	Macs Series		
Banco de bombillas	Phillips	100W	Focos colocados en tablero de 12 filas y 5 columnas
Materiales de vidrio: Matraz Kitasato Beaker	Pyrex Pyrex Pyrex		De 1000 mL De 1000 mL De 400 mL

FUENTE: Elaboración propia

3.1.1 TIPOS DE COMBUSTIBLE EMPLEADOS:

Actualmente los combustibles en el Perú por D.S. N° 021-2007-EM Reglamento de Comercialización de Biocombustibles, dispuso que a partir del año 2011 será de uso obligatorio el Diésel B5 = 5% de Biodiesel B100 + 95% de Diésel 2; sin embargo por gestiones del Instituto de Motores de Combustión Interna de la UNI, ante la Pampilla, se logró conseguir Diésel D-2 puro, los mismos que se usaron para las pruebas.

a. Características del Diésel N° 2

Es empleado en todo tipo de motor Diésel de camiones de transporte pesado, de pasajeros o vehículos livianos en general, equipos de construcción, equipos agrícolas, Plantas de Fuerza, embarcaciones, etc., sus características principales son:

Cuadro 14: Características del petróleo Diésel D-2.

Características	Valores típicos
Gravedad API° a 15°C	32.9
Densidad a 15°C	0.8598
Punto de Inflamación , °C	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 2012

b. Características del Biodiesel de *Jatropha curcas* o piñón:

El biodiesel es un combustible oxigenado, por eso tiene una combustión completa en comparación al Diésel derivado del petróleo y produce menos gases contaminantes. Tiene un punto de inflamación relativamente alto (150 °C) que le hace menos volátil que el Diésel del petróleo y es más seguro de transportar.

Cuadro 15: Características del Biodiesel de Piñón.

Ensayos	Valores típicos
Gravedad específica	0.9186
Punto de llamarada	240/110°C
Punto de destilación	295°C
Viscosidad cinemática	50.73 Cs
Sulfuro	0.13 %
Poder calorífico	9,470 Kcal
Residuos de carbono	0.024
Punto de ebullición	8°C
Punto de solidificación	2°C
Color	4

FUENTE: ficha técnica de *Jatropha curcas*- Cultivos energéticos SRL- Argentina

Las propiedades del biodiesel varían según la materia prima a partir de la cual se le obtuvo (aceites vegetales nuevos o usados de distinto origen o grasas animales). Es por ello, que las normas indican un rango admisible en el valor de las propiedades. El costo del biodiesel varía dependiendo de la reserva, el área geográfica, la variabilidad en la producción de cosecha de estación a estación, el precio del petróleo crudo y otros factores. El alto precio del biodiesel es en gran parte debido al alto precio de la materia prima y también de la calidad que se requiera de éste.

c. Mezclas de combustibles evaluados

Las mezclas que se utilizaron para las pruebas fueron:

- Diésel 2 puro 100% hidrocarburo
- Diésel 2 + 10% de biodiesel
- Diésel 2 + 20% de biodiesel
- Diésel 2 + 30% de biodiesel

3.2 MÉTODOS

3.2.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE LOS GRANOS DE *JATROPHA CURCAS*.

Entre los trabajos previos que se realizó en esta investigación fue conseguir las semillas de *Jatropha curcas*, el mismo que procedió del norte del país; así se realizó los pasos esquematizados a continuación: (fotos en el anexo)

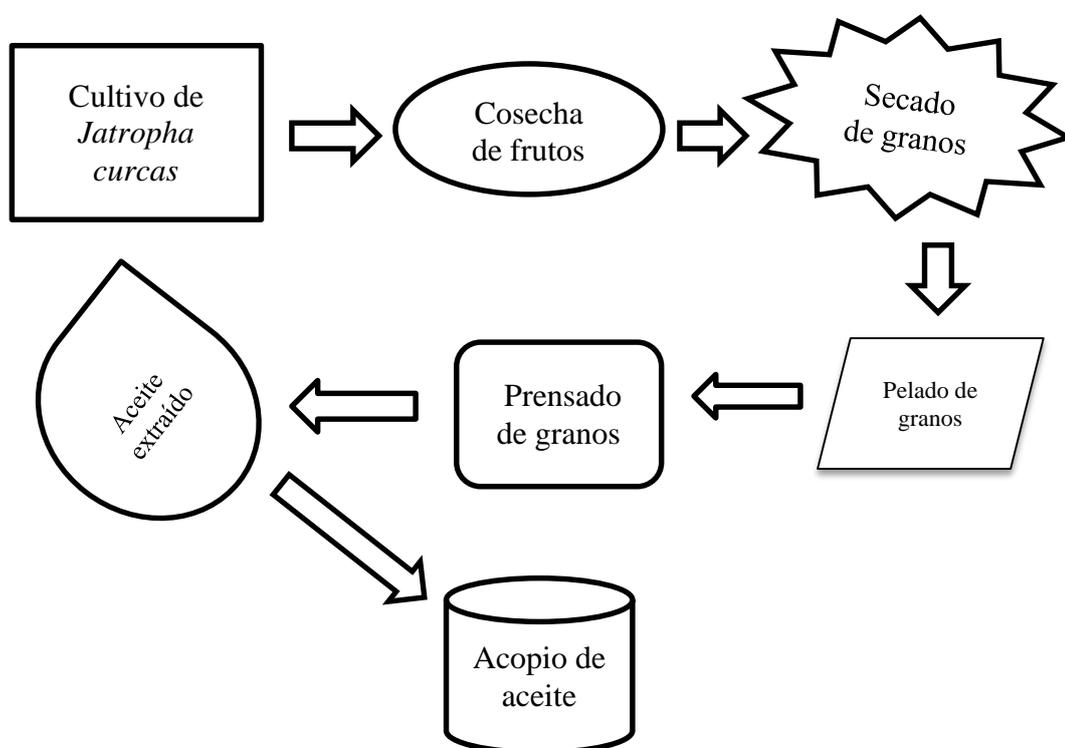


Figura 2: Proceso de extracción del aceite de *Jatropha curcas* (elaboración propia).

3.2.2 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL BIODIESEL

Con el aceite obtenido de las semillas de *Jatropha curcas*, se obtuvo el biodiesel en el Laboratorio de Energías Renovables de la Facultad de Ingeniería Agrícola, siguiendo los siguientes pasos:

- **Aceite Acopiado:** Materia prima (de *Jatropha curcas*) utilizada para el proceso de elaboración de biodiesel.
- **Esterificación:** Método en el cual se utilizó metanol y HCl para reducir el índice de acidez excesivo de la muestra.
- **Transesterificación:** Proceso de intercambiar el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol. Estas reacciones son frecuentemente catalizadas mediante la adición de un ácido o una base. La transesterificación es crucial para producir biodiesel a partir de los aceites vegetales o grasas animales.
- **Neutralización:** El proceso de neutralización supone que ácido y base reaccionan para dar una sal neutra.
- **Destilación metanol:** La recuperación del metanol es una de las partes más importantes del proceso de producción, en segundo lugar la etapa de reacción. Más de la mitad del metanol utilizado en el proceso de reacción se consume, dejando cantidades elevadas de biodiesel y glicerina. En este proceso se recupera metanol para ser utilizado en otro proceso de transesterificación.
- **Decantación:** Etapa en la cual se separa la glicerina del metil éster (biodiesel) esta separación se produce porque el biodiesel tiene menor densidad que la glicerina.
- **Purificación:** Etapa en la cual el biodiesel es sometido a lavados (3veces) con agua, el cual diluye las impurezas presentes en el biodiesel (jabones, glicerina, catalizador, metanol, etc.)

- **Secado:** Etapa en la cual el biodiesel es sometido a temperaturas entre 95° a 100 ° C con el fin de eliminar la humedad (agua) que adquirió durante el proceso de lavado.
- **Filtrado:** Proceso en el cual se filtra el biodiesel para asegurar su calidad y eliminar impurezas externas al proceso. Se utiliza un filtro de 5 micras como mínimo.
- **Uso:** Etapa final cuando el biodiesel está listo para su uso como biodiesel en motores a diésel y/o para su almacenamiento; así como la glicerina.

Las razones para la elección de la *Jatropha curcas* es que es un arbusto de fácil cultivar, resistentes a largos períodos de sequía, en suelos poco aprovechables y en zonas no viables para el manejo con máquinas. Puede ser desarrollada con mano de obra familiar, siendo así una fuente de ingresos para las propiedades rurales necesitadas. Puede ser utilizada para la conservación del suelo, ya que evita la erosión y la pérdida de agua por evaporación, y es un fertilizante natural.

Al extraer el aceite, el bagazo que sobra se puede utilizar como abono orgánico y fertilizantes, la corteza en la fabricación de papel o carbón vegetal, para producir energía. Las semillas no son comestibles, ni son llevadas por aves o animales, debido a que son altamente tóxicas, por lo que no perjudican a otros cultivos o áreas.

Curiosamente, sus hojas y tallos expelen un líquido tóxico que la deja inmune de plagas e insectos conocidos. Tolerancia el riego con agua salobre, evita la desertización y el biodiesel de su aceite no contiene azufre.

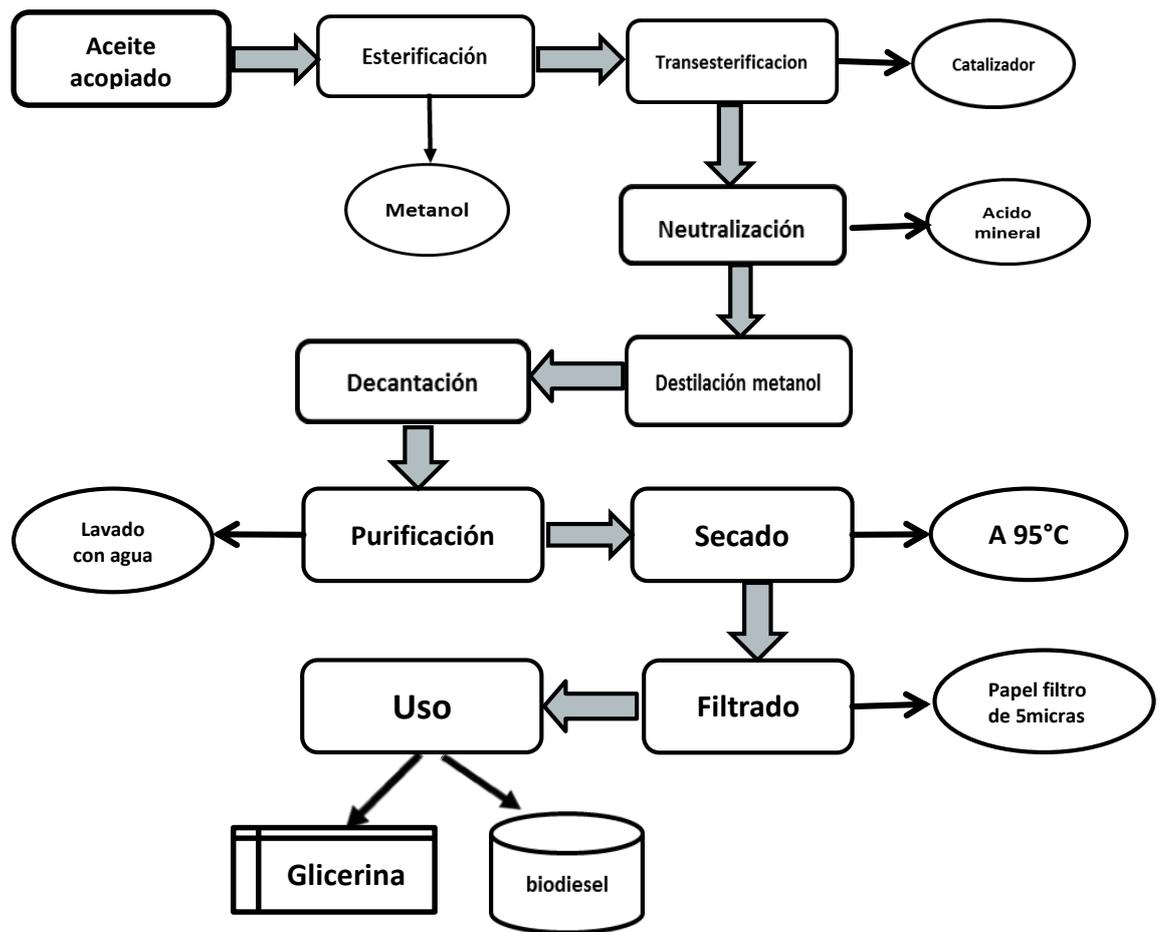


Figura 3: Proceso de extracción del biodiesel de *Jatropha curcas* (elaboración propia)

3.2.3 PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Para realizar las pruebas de campo se utilizó la planta que se esquematiza a continuación; el motor diésel conectado a un generador, cuya velocidad nominal fue de 1,800 rpm, refrigerado por aire:

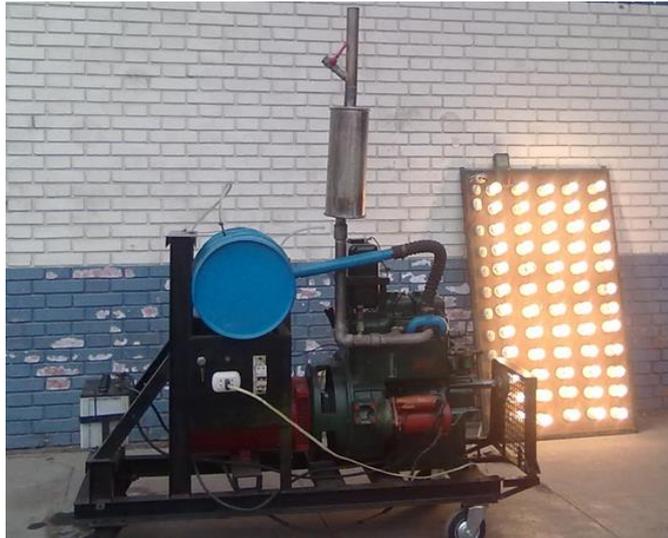


Figura 4: Planta de generación de energía eléctrica (Foto, Cáceres F)

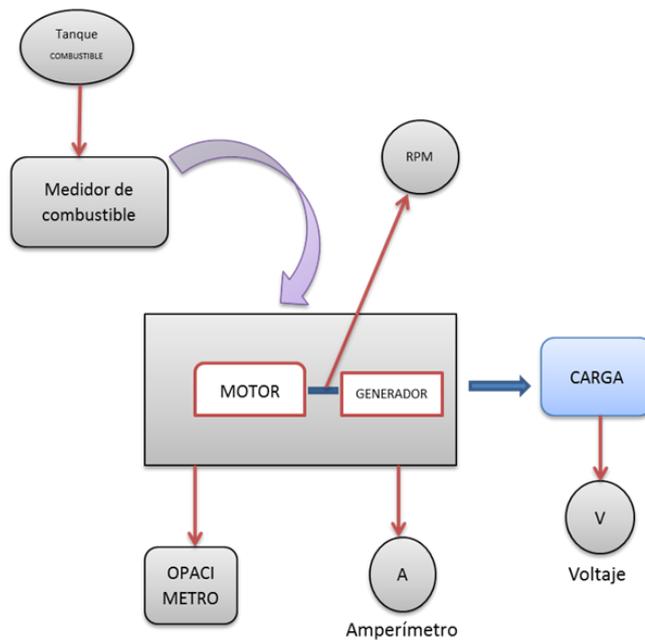


Figura 5: Esquema de la planta de prueba eléctrica (elaboración propia)

3.2.4 MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRODUCIDA

En la planta de pruebas, teniendo el motor de combustión interna funcionando a un ritmo de entre 1,800 rpm, se empezaba a darle carga eléctrica con las bombillas de 100 watts y con la pinza amperimétrica, se midió el amperaje generado en cada carga y con el multímetro digital se midió el voltaje generado.

3.2.5 CALCULO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA GENERADA. (NE)

La medición de la potencia no se realizó inmediatamente; sino que se calculó con los datos de la medición de la energía eléctrica producida, expresando el mismo en unidades internacionales de potencia en Kilo Watts. (KW)

3.2.6 CÁLCULO DEL CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE (GC)

Para el cálculo del consumo de combustible se midió en la misma planta, teniendo en cuenta un consumo de 5mL por unidad de tiempo expresado en segundos, los valores de los mismos se pueden visualizar en los cuadros de resultados; para el cálculo de Gc, se utilizó la siguiente formula:

$$Gc = 3.6 \frac{\Delta V}{t} \rho$$

Dónde:

ΔV : volumen que el motor consume de la probeta

t : tiempo del consumo del volumen ΔV

ρ : Densidad del combustible

3.2.7 CALCULO DEL CONSUMO ESPECÍFICO EFECTIVO DE COMBUSTIBLE (GE)

El mismo que fue calculado con la siguiente relación:

$$ge = \frac{Gc}{Ne}$$

3.2.8 CALCULO DEL MOMENTO DE TORSIÓN DEL MOTOR (ME).

Este parámetro se calculó con los datos medidos en la planta de pruebas y para el cálculo se usó la siguiente relación:

$$Me = 9550 \frac{Ne}{n}$$

Donde n son las rpm medidas en el banco de pruebas.

3.2.9 MEDICIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES POR EL ESCAPE

La medición de las emisiones u opacidad se realizó en la planta en cada prueba y cada vez que se aumentaba la carga eléctrica, los resultados se pueden observar en los cuadros respectivos.

3.2.10 VARIACIÓN DE LA CARGA ELÉCTRICA.

En la característica de carga de todo motor diésel, la variación de la potencia a velocidad constante, se realiza variando tanto la carga sobre el motor, como la cantidad cíclica de combustible suministrado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Con la metodología indicada en el ítem III, se realizaron los ensayos en la planta de pruebas del Instituto de Motores de Combustión Interna de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Ingeniería; habiéndose medido las diferentes variables y luego realizado los cálculos necesarios para llegar a los siguientes resultados:

4.1 PRUEBAS DEL DIÉSEL + 0% DE BIODIESEL.

Estas pruebas se realizaron con la finalidad de tener como referente y sirva como una línea base de las pruebas que luego se debieron realizar con las diferentes mezclas ya indicadas, habiéndose medido y calculado los resultados indicados en los cuadros siguientes:

Cuadro 16: Pruebas con Diésel + 0% de biodiesel.

MAGNITUDES MEDIDAS							
rpm	Carga	ΔV comb.	tiempo	Voltios	amperios	frecuencia	Opacidad
n	%	mL	s	V	I	Hz	m ⁻¹
1812	5	5	18.02	225	1.2	60	1.2
1791	10	5	16.96	218	2.5	60	1.47
1819	20	5	14.18	222	5.4	60	1.72
1810	30	5	12.97	217	8.2	60	1.97
1814	40	5	11.65	220	10.7	60	2
1804	50	5	10.58	216	13.4	60	1.74
1816	60	5	9.39	220	16.3	60	2.5
1813	70	5	8.21	218	19.1	60	4.32
1808	80	5	7.38	216	21.8	60	6.46
1801	85	5	7.15	214	23.1	60	6.15
1797	90	5	6.4	213	24.2	60	8.34
1822	95	5	4.91	223	25.4	60	>9

En el cuadro 16 podemos observar los valores promedios de las pruebas realizadas en la planta de pruebas con el combustible patrón, el Diésel D-2 puro, en él podemos observar que al incrementarse la carga eléctrica, la tendencia de la intensidad de

corriente y la opacidad es creciente, éste último sale del límite permitido, por la antigüedad del equipo.

Cuadro 17: Parámetros calculados Diésel + 0%biodiesel.

PARAMETROS CALCULADOS				
Dens. Comb.	Ne	Gc	ge	Me
Kg/L	KW	Kg/h	Kg/KW-h	N-m
0.830	0.3	0.8	2.8	1.6
0.830	0.6	0.9	1.5	3.2
0.830	1.2	1.1	0.9	6.3
0.830	1.8	1.2	0.7	9.4
0.830	2.4	1.3	0.5	12.4
0.830	3.0	1.4	0.5	15.9
0.830	3.6	1.6	0.4	18.9
0.830	4.2	1.8	0.4	21.9
0.830	4.7	2.0	0.4	24.9
0.830	5.1	2.1	0.4	27.0
0.830	5.40	2.4	0.4	28.7
0.830	5.7	3.1	0.5	29.7

En el cuadro 17, se puede observar los parámetros calculados con los valores medidos del cuadro 16, en el laboratorio; así, se calculó la densidad del Diésel D-2, después de haber pesado un litro del diésel, para lo cual se usó una balanza electrónica. A medida que se incrementó la carga eléctrica, la potencia eléctrica se incrementó hasta un máximo de 5.7 KW. El consumo específico de combustible fue menor a mayor carga eléctrica; mientras el torque se incrementó a medida que se incrementó la carga eléctrica.

4.2 PRUEBAS DEL DIÉSEL D-2 + 10% DE BIODIESEL

Cuadro 18: Pruebas con Diésel + 10% de biodiesel.

MAGNITUDES MEDIDAS							
rpm	Carga	ΔV comb.	tiempo	Voltios	amperios	frecuencia	Opacidad
n	%	mL	s	V	I	Hz	m^{-1}
1800	5	5	16.89	224.25	1.2	60	1.46
1824	10	5	16.51	226.65	2.6	60	1.25
1811	20	5	14.1	221.87	5.3	60	1.08
1802	30	5	12.64	220	8	60	2.08
1802	40	5	11.35	220	10.5	60	1.94
1799	50	5	10.62	219.67	13.2	60	2.21
1818	60	5	9.3	224.5	16	60	2.26
1806	70	5	8.43	223	18.7	60	3.28
1804	80	5	7.51	221.48	21.4	60	4.99
1822	85	5	6.51	225.93	23.1	60	7.64
1822	90	5	6.34	223.92	24.1	60	9.07
1814	95	5	5.66	222.93	25.6	60	>10

En el cuadro 18 podemos observar las magnitudes medidas en la planta de pruebas, con el D-2 + 10% de biodiesel en el combustible, y al 95% de carga eléctrica, similar al diésel puro, la opacidad superó los $10 m^{-1}$.

La variación del amperaje también se fue incrementando a medida que aumentamos la carga eléctrica; y el tiempo de consumo de combustible del bulbo se realizó en menor tiempo al incrementarse la carga. Se pudo observar una relación directa entre el incremento de la carga eléctrica y la intensidad de corriente.

Cuadro 19: Parámetros calculados Diésel + 10% de biodiesel.

PARAMETROS CALCULADOS				
Dens. Comb.	Ne	Gc	ge	Me
Kg/L	KW	Kg/h	Kg/KW-h	N-m
0.8371	0.3	0.9	3.3	1.4
0.8371	0.6	0.9	1.5	3.1
0.8371	1.2	1.1	0.9	6.2
0.8371	1.8	1.2	0.7	9.3
0.8371	2.3	1.3	0.6	12.2
0.8371	2.9	1.4	0.5	15.4
0.8371	3.6	1.6	0.5	18.9
0.8371	4.2	1.8	0.4	22.1
0.8371	4.7	2.0	0.4	25.1
0.8371	5.2	2.3	0.4	27.4
0.8371	5.4	2.4	0.4	28.3
0.8371	5.7	2.7	0.5	30.0

En el cuadro 19, podemos observar un ligero incremento de la densidad de la mezcla (D-2 + 10% biodiesel) con relación al diésel puro, siendo este incremento del 0.86%; así mismo la potencia, el consumo horario de combustible y el torque se incrementó a medida que se iba aumentando la carga eléctrica; mientras que el consumo específico de combustible fue disminuyendo.

4.3 PRUEBAS DEL DIÉSEL D-2 + 20% DE BIODIESEL

Cuadro 20: Pruebas con Diésel + 20% de biodiesel.

MAGNITUDES MEDIDAS							
rpm	Carga	ΔV comb.	tiempo	Voltios	amperios	frecuencia	Opacidad
n	%	mL	s	V	I	Hz	m^{-1}
1800	5	5	15.19	230	1.2	60	1.9
1805	10	5	13.14	227	2.6	60	3.41
1809	20	5	13.24	228	5.4	60	2.09
1832	30	5	12.23	231	8.2	60	1.36
1836	40	5	11.41	230	10.8	60	1.33
1832	50	5	10.24	228	13.7	60	1.66
1821	60	5	9.37	228	16.5	60	1.9
1808	70	5	8.63	226	19.2	60	2.8
1808	80	5	7.57	226	22	60	3.31
1811	85	5	6.84	225	23.4	60	5.95
1802	90	5	6.57	224	24.5	60	5.91
1830	95	5	6	230	26.4	60	7.86
1821	100	5	5.52	228	27.6	60	>9

En el cuadro 20, se puede observar que con el 20% de biodiesel en el Diésel puro el nivel de opacidad registrado fue menor que con el diésel puro y con el 10% de biodiesel y recién con la carga eléctrica al 100%, la opacidad superó el nivel $9 m^{-1}$. Como en los casos anteriores, la intensidad de corriente se incrementó a medida que se aumentó la carga eléctrica.

Cuadro 21: Parámetros calculados Diésel + 20% de biodiesel.

PARAMETROS CALCULADOS				
Dens. Comb.	Ne	Gc	ge	Me
Kg/L	KW	Kg/h	Kg/KW-h	N-m
0.8402	0.3	1.0	3.6	1.5
0.8402	0.6	1.2	2.0	3.1
0.8402	1.2	1.1	0.9	6.5
0.8402	1.9	1.2	0.7	9.9
0.8402	2.5	1.3	0.5	12.9
0.8402	3.1	1.5	0.5	16.3
0.8402	3.8	1.6	0.4	19.7
0.8402	4.3	1.8	0.4	22.9
0.8402	5.0	2.0	0.4	26.3
0.8402	5.3	2.2	0.4	27.8
0.8402	5.5	2.3	0.4	29.1
0.8402	6.1	2.5	0.4	31.7
0.8402	6.3	2.7	0.4	33.0

En el cuadro 21, se puede observar que al ser mezclado el petróleo puro D-2 con 20% de biodiesel, la densidad se incrementó en 1.23% y a máxima carga eléctrica la potencia eléctrica se incrementó en 10.53% respecto al producido con el diésel puro a la misma carga; así mismo el torque también tuvo un incremento del 11.11% a máxima carga.

4.4 PRUEBAS DEL DIÉSEL D-2 + 30% DE BIODIESEL

Cuadro 22: Pruebas con Diésel + 30% de biodiesel.

MAGNITUDES MEDIDAS							
rpm	Carga	ΔV comb.	tiempo	Voltios	amperios	frecuencia	Opacidad
n	%	mL	s	V	I	Hz	m ⁻¹
1803	5	5	16.39	226	1.2	60	1.17
1804	10	5	15.65	227	2.6	60	1.35
1809	20	5	14.01	227	5.4	60	1.75
1810	30	5	13.13	225	8.2	60	1.6
1808	40	5	11.65	225	10.8	60	2.25
1803	50	5	10.51	224	13.6	60	2.74
1809	60	5	10.9	225	16.2	60	3.18
1802	70	5	8.53	226	19.1	60	3.6
1798	80	5	7.5	224	21.8	60	4.2
1803	85	5	7.31	224	23.3	60	6.25
1813	90	5	6.21	226	24.7	60	8.12
1808	95	5	5.91	225	26	60	8.51
1804	100	5	5.06	222	27.2	59	>9

En el cuadro 22, tenemos los valores obtenidos de las pruebas, realizada con la mezcla de 30% de biodiesel en el D-2 puro, donde se puede observar que también a la máxima carga eléctrica se produjo la mayor opacidad; mientras los demás parámetros medidos fueron muy similares.

Cuadro 23: Parámetros calculados Diésel + 30% de biodiesel.

PARAMETROS CALCULADOS				
Dens. Comb.	Ne	Gc	ge	Me
Kg/L	KW	Kg/h	Kg/KW-h	N-m
0.8452	0.3	0.9	3.4	1.4
0.8452	0.6	1.0	1.6	3.1
0.8452	1.2	1.1	0.9	6.5
0.8452	1.8	1.2	0.6	9.7
0.8452	2.4	1.3	0.5	12.8
0.8452	3.0	1.4	0.5	16.1
0.8452	3.6	1.4	0.4	19.2
0.8452	4.3	1.8	0.4	22.9
0.8452	4.9	2.0	0.4	25.9
0.8452	5.2	2.1	0.4	27.6
0.8452	5.6	2.4	0.4	29.4
0.8452	5.9	2.6	0.4	30.9
0.8452	6.0	3.0	0.5	32.0

En el cuadro 23, podemos observar los parámetros calculados con los datos del cuadro 22, de la mezcla D-2 con el 30% de biodiesel, la densidad de la mezcla se incrementó en 1.83% respecto del petróleo D-2; así mismo podemos observar que el torque se incrementó en 7.74 %, respecto del producido a máxima carga eléctrica con el petróleo D-2 puro; así mismo se incrementó la potencia eléctrica en 6%.

En los gráficos que siguen vamos a observar el comportamiento de los diferentes parámetros calculados con las diferentes mezclas en función de la potencia eléctrica desarrollada, tales como:

4.5 VARIACIÓN DEL CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE.

Calculamos la variación del consumo horario de combustible en función de la potencia eléctrica desarrollada por el motor durante la Generación de energía eléctrica con diferentes mezclas

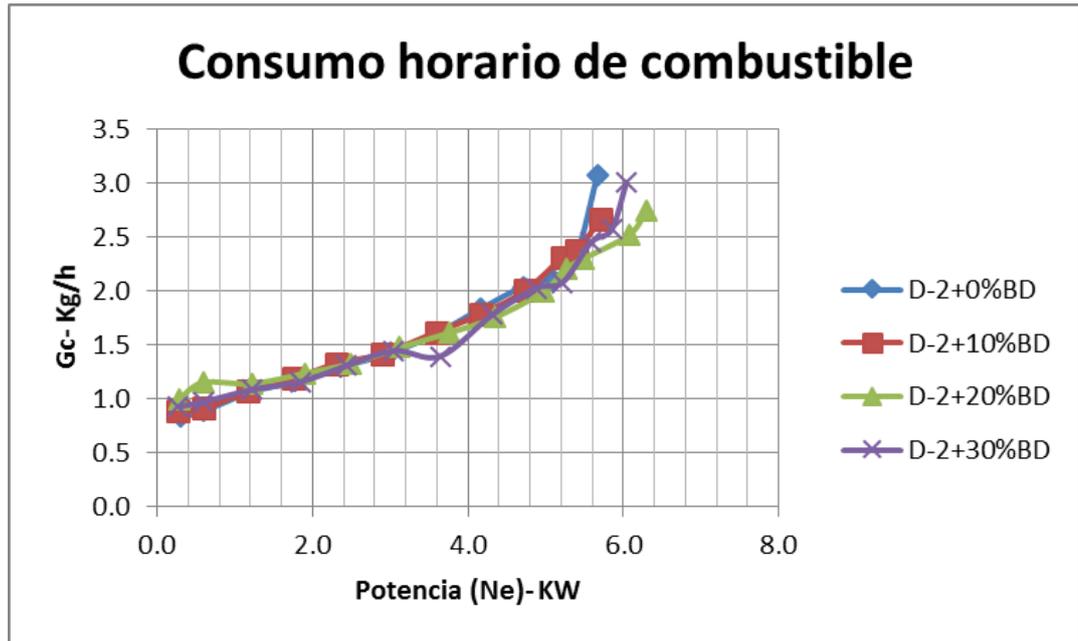


Figura 6: Consumo horario de combustible (elaboración propia).

En la figura 6, podemos observar que el consumo de combustible, se va incrementando casi linealmente hasta los 4 KW, pero la tendencia del consumo de combustible fue aparentemente similar a medida que se incrementó la potencia eléctrica.

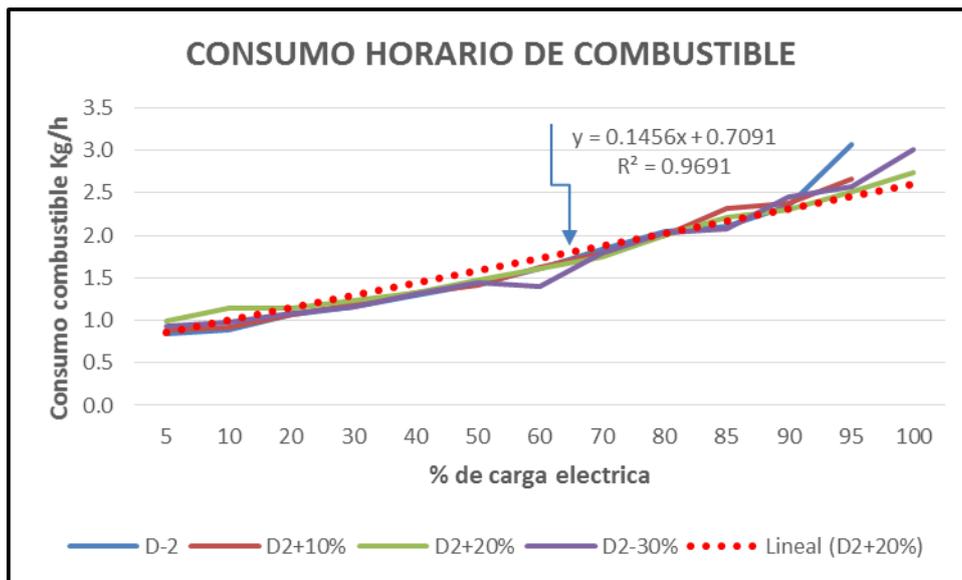


Figura 7: Ecuación lineal del consumo horario de combustible (elaboración propia).

En la figura 7, se muestra la ecuación de relación del consumo horario del combustible en función del porcentaje de la carga eléctrica, con un R^2 del 96%, es decir la relación tiende a ser casi lineal, pero hay variación estadística significativa entre las mezclas que contenían 20% y 30% de biodiesel.

4.6 VARIACIÓN DEL CONSUMO ESPECIFICO DE COMBUSTIBLE.

Consumo específico, es la cantidad de combustible que necesita un motor para suministrar una determinada unidad de potencia por unidad de tiempo. El consumo específico es una forma de expresar el rendimiento del motor, en el sentido que relaciona consumo con prestaciones. Cuanto menor sea el consumo específico de un motor, mejor es su rendimiento.

Se puede observar en la figura 8, la variación del consumo específico de combustible en función de la potencia del motor.

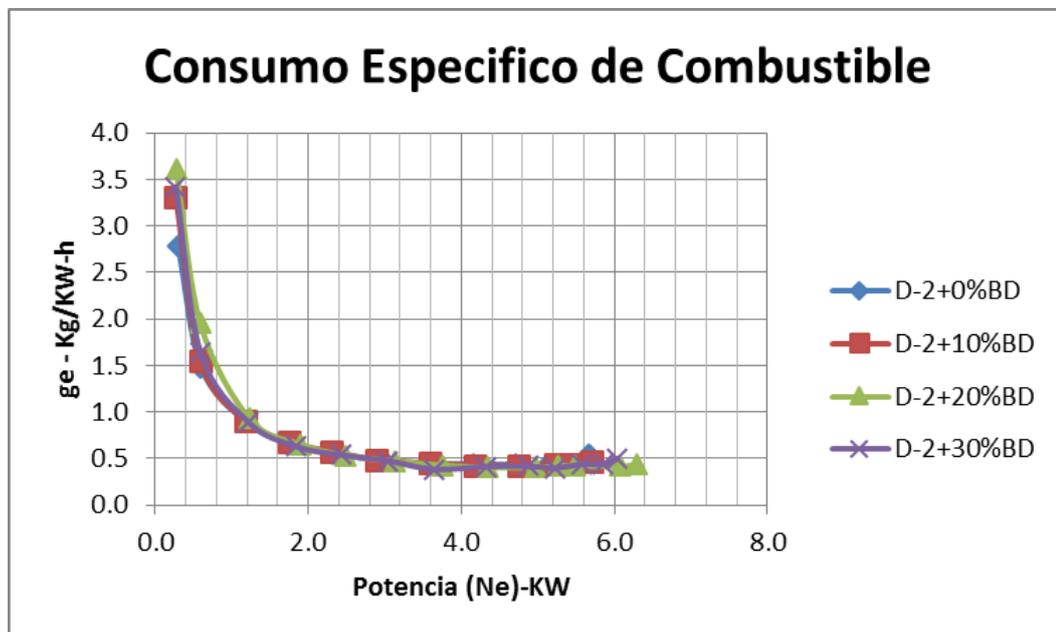


Figura 8: Consumo específico de combustible (elaboración propia).

En la figura 8, podemos observar el comportamiento del consumo específico de combustible en función de la potencia eléctrica generada, se observó que el consumo específico fue mayor cuando la potencia eléctrica generada fue baja, es decir el rendimiento del motor fue menor, pero a medida que aumenta la potencia eléctrica se

observó un comportamiento asintótico, es decir el consumo específico bajó a 0.5 Kg/KW-h, manteniéndose constante cuando la potencia aumentó, lo que nos indica que en este caso el rendimiento del motor fue alto, manteniéndose constante con cada una de las pruebas, existiendo diferencias significativas entre las mezclas usadas con el 20% de biodiesel.

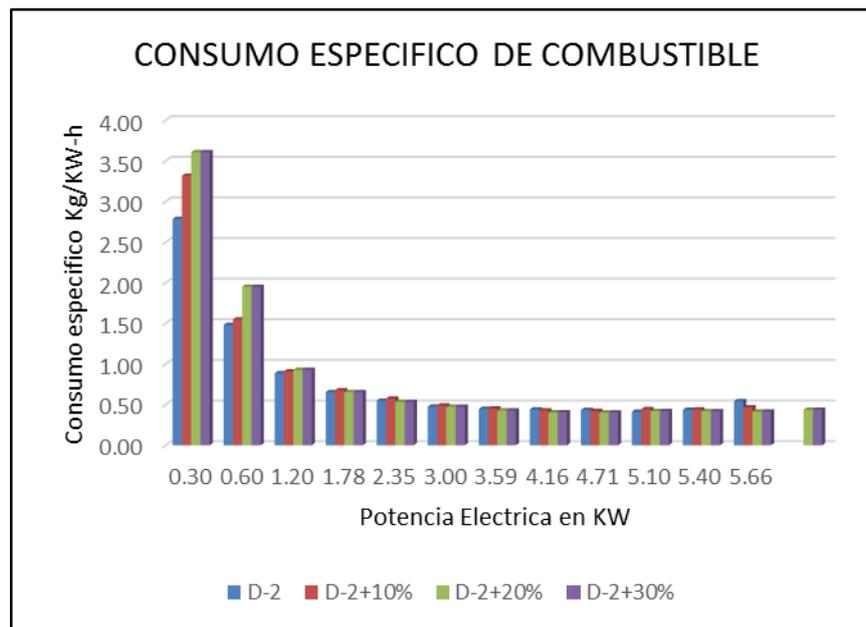


Figura 9: Diagrama de barras de consumo específico de combustible (elaboración propia).

En la figura 9, podemos observar claramente que a mayor potencia eléctrica con las diferentes mezclas el consumo específico de combustible fue menor lo cual nos indica que el rendimiento del motor tiende a ser uniforme; sin embargo estadísticamente hay variación significativa en la mezcla de 20% de biodiesel, es decir que el rendimiento del motor con esta mezcla fue mayor.

4.7 VARIACIÓN DE LA OPACIDAD DE LOS GASES DE ESCAPE.

La opacidad de los gases del escape en función de la potencia eléctrica desarrollada por el motor, con las diferentes mezclas, se puede observar en el gráfico siguiente:

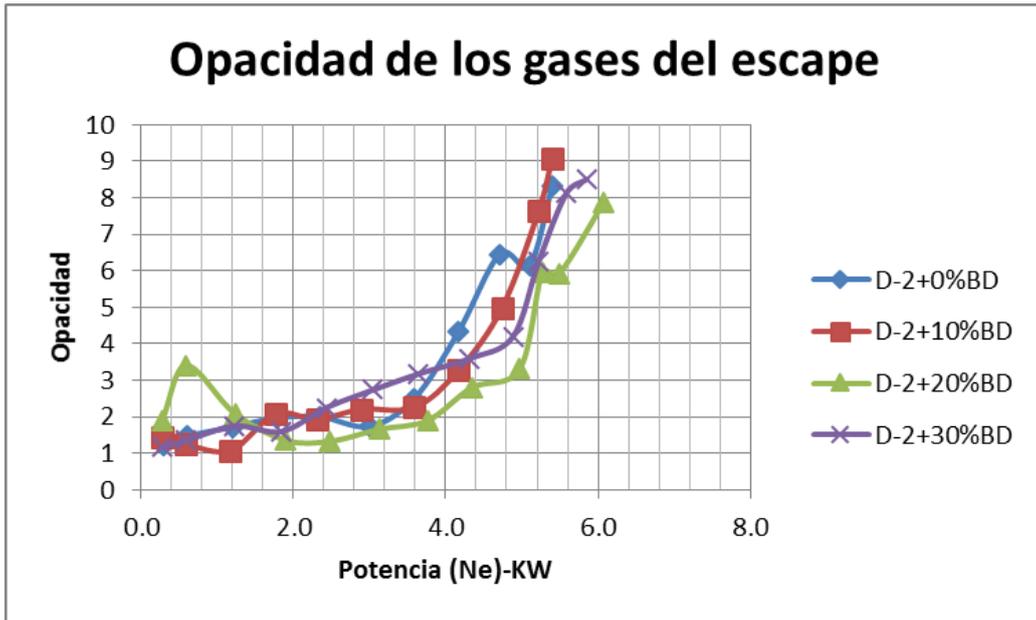


Figura 10: Opacidad medido en el escape de gases del motor (elaboración propia)

En la figura 10, se puede observar que el valor de la opacidad generada por el motor de combustión interna de prueba se fue incrementando en los gases del escape a medida que aumentó la potencia eléctrica independientemente de la concentración de biodiesel en el combustible; sin embargo al generarse la potencia de 2KW a 4 KW, se puede observar que el particulado fue menor en la prueba realizada con la mezcla de 30% de biodiesel, pero al incrementarse la carga y la potencia, la tendencia a aumentar la opacidad se fue incrementando.

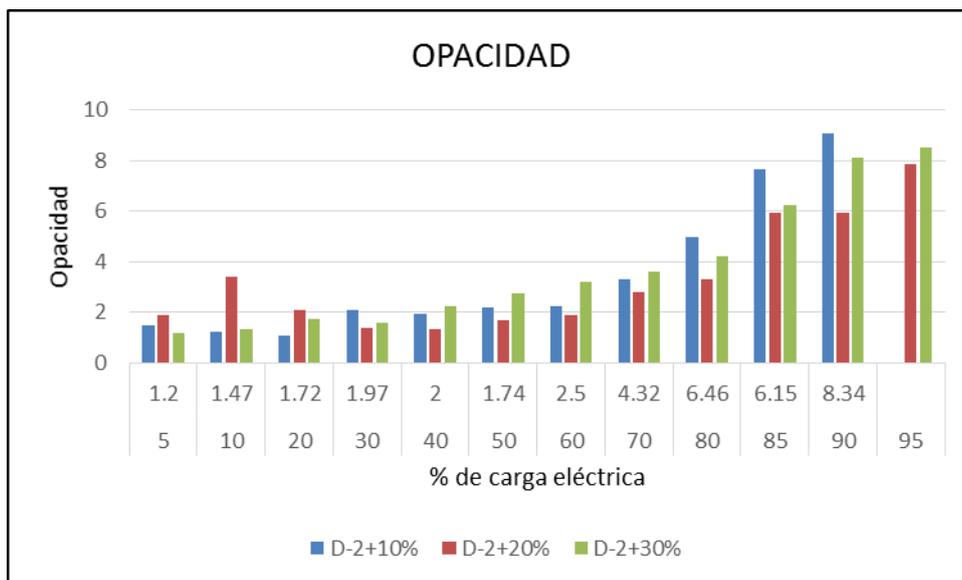


Figura 11: Diagrama de barras de la opacidad medido en el escape de gases.

En la figura 11, se puede observar la variación de la opacidad en función de la carga eléctrica suministrada al motor, donde hasta el 60% de aplicada la carga eléctrica la opacidad es ligeramente superior al permitido, pero con carga de más del 70% ya sale fuera de los límites permitidos.

Estos resultados son atribuibles al estado técnico del sistema de inyección y al hecho de que el motor de combustión interna sometido a los ensayos tiene antigüedad mayor a la fecha de fijación de los estándares de opacidad y donde ésta no tenía la importancia de ahora.

4.8. VARIACIÓN DEL MOMENTO DE TORSIÓN DEL MOTOR.

La variación del momento de torsión o torque generado por el motor de combustión interna con diferente carga eléctrica y mezclas en función de la potencia eléctrica desarrollada por el motor, se puede observar en el gráfico siguiente:

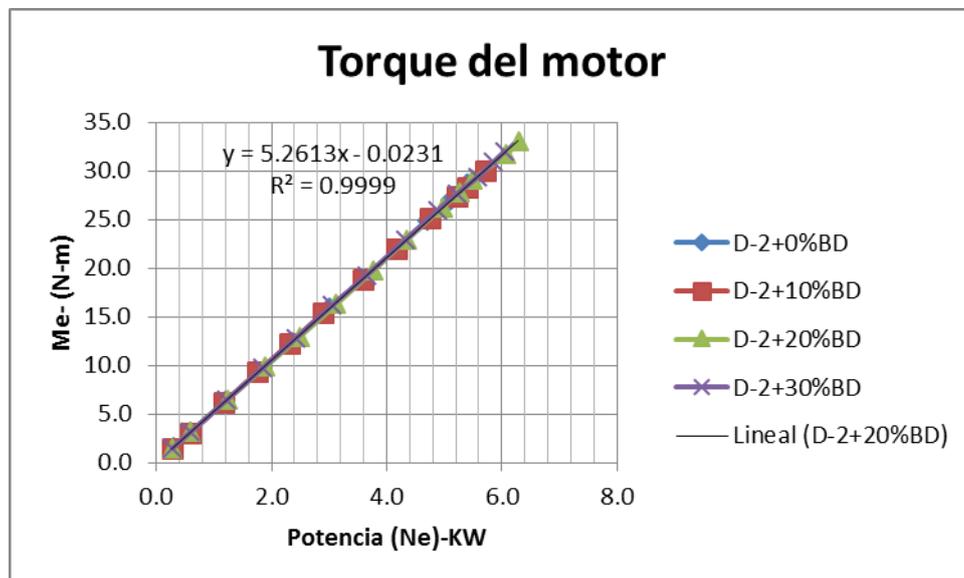


Figura 12: Torque del motor producido con las diferentes mezclas (elaboración propia).

En la figura 12, podemos observar que el torque generado en el motor de combustión interna al producirse la potencia eléctrica a medida que se fue incrementando la carga eléctrica, tuvo un comportamiento lineal cuya ecuación se puede observar en el mismo gráfico con un R² del 99%; sin embargo se obtuvo diferencias significativas entre las

mezclas; así, las medianas de los valores de torque son mayores con las mezclas de 20% y 30%; es decir con estas mezclas el rendimiento del momento torsor fue mayor.

4.9 CALCULO DE DENSIDADES DE LAS MEZCLAS Y DIÉSEL D-2

Utilizando la balanza electrónica del laboratorio del IMCI, se elaboró el siguiente cuadro y gráfico de densidades:

Cuadro 24: Densidades de las mezclas y diésel D-2.

Mezcla y D-2	Peso (Kg) de 1000cc	Densidad (kg/l)
D + 10% Biodiesel	0.8371	0.8371
D + 20% Biodiesel	0.8402	0.8402
D + 30% Biodiesel	0.8452	0.8452
B100 biodiesel	0.8742	0.8742
D-2 puro	0.8300	0.8300

FUENTE: elaboración propia.

En el cuadro 24 y en la figura 13, podemos observar que la densidad del biodiesel puro B100 fue mayor que el del diésel D-2 puro, y a medida que la mezcla del biodiesel se incrementó en el diésel D-2, la densidad de la mezcla también se fue incrementando, siendo mayor la densidad del biodiesel puro.

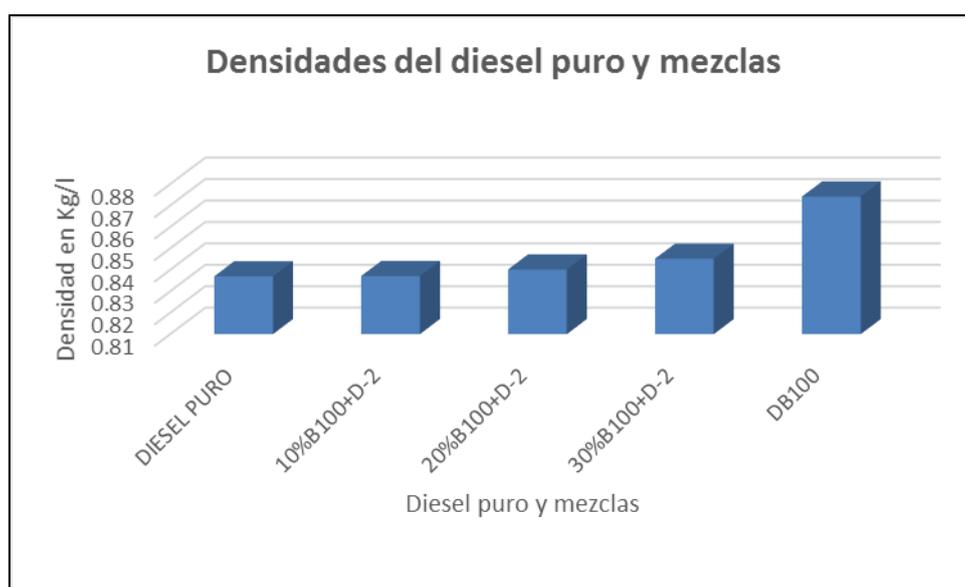


Figura 13: Densidades de las mezclas y diésel puro (elaboración propia).

4.10 EFECTO DE LA POTENCIA ELÉCTRICA GENERADA EN FUNCIÓN DE LA CARGA APLICADA.

Para medir la potencia eléctrica con cada una de las mezclas y el diésel puro se usaron focos de 100 watts, se empezó con 5 focos y se fue aumentando hasta completar el 100% o 60 focos, los resultados de pueden observar en la figura 14 siguiente:

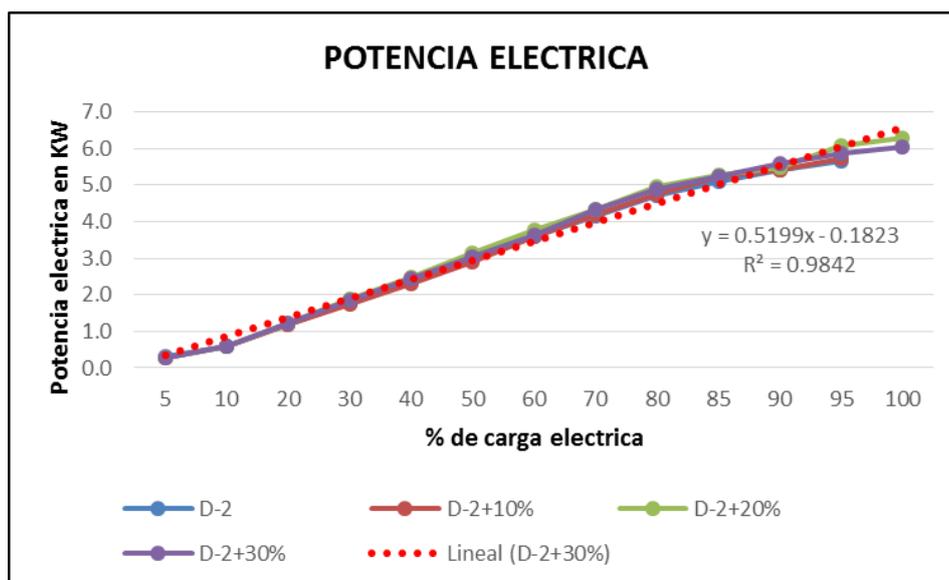


Figura 14: Potencia eléctrica en función de la carga eléctrica (elaboración propia).

En la figura 14, se puede observar que la potencia eléctrica generada en el grupo electrógeno se fue incrementando casi proporcional al incremento de la carga eléctrica, con una relación lineal, cuya ecuación lineal se observa en el gráfico con un R^2 del 98%, que nos marca la tendencia; sin embargo estadísticamente hubo variación significativa entre mezclas de D-2 y D-2+10% con las mezclas D-2+20% y D-2+30%.

4.11 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS VALORES DE LAS PRUEBAS REALIZADAS.

Se utilizó el DISEÑO COMPLETO AL AZAR, para comparar tres tipos de mezclas con el diésel (tratamientos) con cinco repeticiones, antes de realizar el análisis de varianza se verificó los supuestos tales como: la normalidad de los residuales y homogeneidad de varianzas, utilizando las pruebas de Shapiro Wild y la prueba de Bartlett

respectivamente. En los casos que no se cumplieron los supuestos del análisis de varianza se utilizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis, que es similar a la prueba paramétrica, en el cual utiliza las medianas para el análisis entre mezclas. En todas las pruebas se utilizó un nivel de significación del 5 %.

Los resultados estadísticos se obtuvieron con el software estadístico Minitab para Windows v16. Las semillas de la *jatropha curcas* utilizada procede de la región Piura, cosecha del mes de Agosto del año 2010.

4.11.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS POTENCIAS ELÉCTRICAS GENERADO CON LAS DIFERENTES MEZCLAS.

Este análisis se realizó para evaluar los resultados de la potencia eléctrica generada con el diésel puro D-2 y diferentes mezclas, para determinar su nivel de significancia. Esta prueba se calculó con la prueba de Bartlett:

Estadística de prueba = 0.68, valor p = 0.877

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Entre Tratos. (Mezclas)	3	0.2880	0.0960	9.60	0.001**
Dentro (error experimental)	16	0.1600	0.0100		
Total	19	0.4480			
CV = 4.57%					

El ANVA nos indica que para la fuente de la mezcla (tratamientos) existen diferencias altamente significativas con un coeficiente de variabilidad de 4.57%., es decir de que no todas la potencias promedio son iguales para un $\alpha = 0.05$.

Para explorar las diferencias entre las medias de las mezclas se examinó los resultados de las comparaciones múltiples con la prueba de Tukey. (Nos indica que tratamientos resultaron mejor)

Mezclas	N	Media	Agrupación
D-2+30%BD	5	3.4800	A
D-2+20%BD	5	3.4800	A
D-2+10%BD	5	3.2400	B
D-2+0% BD	5	3.2400	B

Según el cuadro anterior las mezclas que usaron 20% y 30% de biodiesel produjeron similar potencia eléctrica, pero diferentes en relación con la mezcla de 10% de biodiesel y el diésel D-2 puro.

4.11.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL CONSUMO HORARIO DE COMBUSTIBLE.

El análisis estadístico se realizó con los promedios de los valores de consumo horario de las pruebas realizadas con las diferentes mezclas, y el D-2. Se usó la Prueba No paramétrica de Kruskal-Wallis, que compara las medianas de los promedios, cuyo resultado se observa en el cuadro siguiente:

Mezclas	N	Mediana	Clasificación	
			del Promedio	Z
D-2+0% BD_1	5	1.650	7.0	-1.53
D-2+10%BD_1	5	1.640	4.0	-2.84
D-2+20%BD_1	5	1.730	17.4	3.01
D-2+30%BD_1	5	1.720	13.6	1.35
General	20		10.5	
CV = 2.58 %				

$$H = 15.96 \quad GL = 3 \quad P = 0.001$$

$$H = 16.40 \quad GL = 3 \quad P = 0.001 \text{ (ajustados para los vínculos)}$$

Como se puede observar existen diferencias estadísticas significativas en el consumo horario de combustible entre mezclas, realizado con diferentes cargas eléctricas en el banco de pruebas, en relación a la potencia eléctrica generada, siendo mayores estos con la mezclas de 20% y 30% de biodiesel, y menor con la mezcla de 10% de biodiesel, a un nivel de significación de $\alpha = 0.05$.

4.11.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CONSUMO ESPECÍFICO DE COMBUSTIBLE

Se utilizó para este análisis la Prueba de Kruskal-Wallis, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

Mezclas	N	Mediana	Clasificación	
			del Promedio	Z
D-2+0% BD_2	5	0.8000	7.3	-1.40
D-2+10%BD_2	5	0.8000	7.7	-1.22
D-2+20%BD_2	5	0.9000	9.3	-0.85
D-2+30%BD_2	5	0.8000	9.0	-0.65
General	20		10.5	
CV =5.52 %				

H = 10.94 GL = 3 P = 0.012

H = 11.75 GL = 3 P = 0.008 (ajustados para los vínculos)

Según los valores anteriores se puede observar que existen diferencias estadísticamente significativas entre las mezclas, pero más significativo con la mezcla de 20% de biodiesel; es decir el rendimiento del consumo específico de combustible fue mayor; pero en términos de rendimiento del motor esto significa que con esta mezcla se obtuvo menor rendimiento, mientras que las medianas de los demás fueron prácticamente iguales, es decir en ellos el rendimiento del motor fue similar.

4.11.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROMEDIOS DE MOMENTO DE TORSIÓN DEL MOTOR

Como en los casos anteriores, se usó la Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para evaluar entre que mezclas se produjo las diferencias de momento Torsión durante los ensayos el uso de las diferentes mezclas.

Mezcla	Clasificación			
	N	Mediana	del promedio	Z
D-2+0% BD_3	5	16.80	7.2	-1.44
D-2+10%BD_3	5	16.68	3.8	-2.92
D-2+20%BD_3	5	18.50	16.9	2.79
D-2+30%BD_3	5	18.35	14.1	1.57
General	20		10.5	
CV = 5.03 %				

H = 15.67 GL = 3 P = 0.001

H = 15.71 GL = 3 P = 0.001 (ajustados para los vínculos)

De los resultados del cuadro anterior se puede observar que el torque producido durante las pruebas fue mayor cuando se usó la mezcla con 20% de biodiesel, seguido con la mezcla de 30% de biodiesel, pero se obtuvo menor generación del torque con la mezcla de 10% de biodiesel y el diésel puro D-2.

4.11.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PROMEDIOS DE OPACIDAD DEL MOTOR

Como en los casos anteriores, se usó la Prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para evaluar entre que mezclas se produjo las diferencias de emisión de particulado u opacidad producido durante las pruebas en la generación de energía eléctrica con el uso de las diferentes mezclas.

Estadística de prueba = 16.24, valor p = 0.001

Clasificación				
Mezcla5	N	Mediana	del promedio	Z
D-2+0% BD_4	5	3.410	12.7	0.96
D-2+10%BD_4	5	3.150	3.0	-3.27
D-2+20%BD_4	5	3.330	8.3	-0.96
D-2+30%BD_4	5	3.700	18.0	3.27
General	20		10.5	
CV = 6.34 %				

H = 17.45 GL = 3 P = 0.001

H = 17.61 GL = 3 P = 0.001 (ajustados para los vínculos)

Según los resultados de la prueba estadística existen diferencias significativas entre las mezclas sobre los promedios de opacidad de los gases del motor; siendo esto mayor con la mezcla del 30%, eso debido a la antigüedad del motor del banco de ensayo, que para vencer la carga eléctrica completa necesitó mayor esfuerzo, produciendo mayor particulado. La mezcla de 10% de biodiesel produjo menor particulado.

V. CONCLUSIONES

1. Las pruebas efectuadas con tres concentraciones diferentes de biodiesel (10%, 20% y 30%) en el combustible Diesel-2 muestran que los parámetros de potencia y consumo efectivo de combustible del motor difiere significativamente de los resultados obtenidos ensayando el motor con el combustible diésel D-2 puro.
2. El biodiesel empleado en las concentraciones que van de 10 a 30% en volumen de mezcla con el combustible Diesel-2 no modifica la tendencia de variación del consumo horario y el consume específico de combustible en función de la variación de la potencia, a velocidad constante.
3. Se obtuvo un significativo aumento de potencia eléctrica cuando el motor funcionó con el 20% y 30% de biodiesel, estadísticamente.
4. En todos los casos el valor de la opacidad muestra que el motor independientemente de la concentración de biodiesel en el combustible alcanza su potencia nominal con valores de opacidad muy por encima del límite permitido.
5. La producción de biodiesel podría perjudicar la producción de los productos derivados de esos vegetales que se usan para la alimentación humana. La semilla de *Jatropha curcas*, por ser tóxica, no puede servir para la alimentación, pero si para biodiesel.
6. La *Jatropha curcas* es una fuente de renta complementaria para la población rural necesitada, debido a su bajo costo de cultivo: no necesita agroquímicos, no contamina el suelo, no requiere preparar el suelo y tampoco equipos modernos. Es muy resistente a la sequía, tiene alta productividad por hectárea y produce un biodiesel de alta calidad, siendo una óptima alternativa complementaria a la producción de biodiesel en la región del Mercosur.
7. El dilema de “alimentos versus energía” seguirá siendo una incógnita hasta disponer de una plataforma sólida de estudios que analicen todos los factores relacionados al tema. Son múltiples los actores y problemas que se encuentran entrelazados.
8. Las densidades obtenidas de las diferentes mezclas, se incrementaron levemente respecto al diésel D-2, lo cual le brinda una buena propiedad de lubricidad.
9. El biodiesel presenta ventajas ambientales globales al reducir el aporte neto de CO₂ a la atmosfera, evitando en alguna medida la contribución del uso de combustibles fósiles a empeorar el “efecto invernadero”.

10. La ventaja de usar como combustible el aceite de piñón se debe a su estado de agregación, su alto poder calorífico y por ser un recurso renovable. Pero existen algunas limitaciones como su alta viscosidad, su baja volatilidad y la reactividad de las cadenas hidrocarbonadas insaturadas.

VI.RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas con 100 % de Biodiesel de *Jatropha curcas*, para medir la generación de potencia eléctrica en grupos electrógenos que funcionan con diésel D-2.
2. Realizar pruebas de generación de energía eléctrica utilizando biodiesel a diferentes altitudes, para su uso en zonas de sierra.
3. Realizar pruebas de uso del biodiesel para accionar motores de embarcaciones navieras, o bolicheras.
4. Fomentar la producción de *Jatropha curcas*, porque su producción no afecta la seguridad alimentaria, porque es un cultivo que produce en condiciones extremas.
5. Seguir con las investigaciones del uso del biodiesel de *Jatropha curcas* en otras actividades, tales como el uso del mismo en nebulizadoras para la aplicación de pesticidas.
6. Investigar sobre el germoplasma adecuado y los rendimientos en distintas condiciones de producción.
7. La torta residual puede ser empleada como fertilizante o como alimento para ganado luego de ser inactivada al principio tóxico que contiene.
8. Se debe investigar la posibilidad de utilizar la corteza de las capsulas del piñón para la fabricación de papel o elaboración de carbón activado.
9. Probar el uso del biodiesel puro en calderos, como combustible.
10. Probar como insumo de limpieza en plantas industriales, para la limpieza de piezas metálicas.
11. Probar el uso del biodiesel en el lavado de piezas durante la reparación de motores de combustión interna.
12. Realizar pruebas de opacidad y emisiones gaseosas de CO₂, O₂, SO₂, CO, NO_x, durante el uso del biodiesel puro en motores de combustión interna estacionarios de bombeo, molinos, etc.
13. Buscar alternativas para la utilización de subproductos de la elaboración del Biodiesel, como la glicerina.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (07 de 10 de 2012). Obtenido de <http://www.duke-energy.com.pe/es/canondelpato.htm>
- (24 de 09 de 2012). Obtenido de 17. <http://www.inforegion.pe/portada/139537/elaboracion-del-biodiesel-a-partir-del-pinon-blanco/>
- (13 de 10 de 2012). Obtenido de <http://www.miguelms.com/dyei.htm>
- (13 de 10 de 2012). Obtenido de <http://www.rlc.fao.org/es/prioridades/bioenergia/bioseguridad.htm>
- (13 de 10 de 2012). Obtenido de <http://www.wikiciencia.org/tecnologia/energia/solar-fototermica/index.php>
- BARBOSA, *et al.* 2008. Desempenho comparativo de um motor de gasolina utilizando Ciclo Diesel e mistura de biodiesel. *Ciência e Agrotecnologia Lavras.*, v 32, Nº5, 1588-1593.
- CANTURIN CHAVEZ, A. 2006. *Evaluacion de la Potencia, Torque, Consumo de Combustible y Emision de Particulados empleando Biodiesel de Palma (Elaeis guineensis) puro y en mezclas con petroleo en un motor de Combustion interna.* lima-Peru.
- CASTILLO, D. 2009. *Vialidad de los Biocombustibles y Bioetanol.*
- CORREA, I. 2008. Desempenho de Motor Diesel com misturaas de Biodiesel de Oleo de Girassol. *Ciência e Agrotecnologia, Lavras*, v.32, nº 3, p. 923-928.
- CUMMINS ENGINE COMPANY, I. 1976. Boletin 3384060. 27 .
- ENERGIA, A. M. 2001. *Generacion electrica a partir de fuentes nuevas: Energia Solar.* Lima.
- FAJARDO J, *et al.* 2005. *Estudio dde encendido poreal Desempeño Mecanico y Ambiental de los Motores deencendido por compresion al utilizar biodiesel como combustible.* Colombia.: Facultad de Ingenieria Mecanica, grupo investigaciones EOLITO.Universidad Tecnologica de Bolivar.
- FAO. 2011. *Oportunidades y Riesgos del uso de la Bionergia para la Seguridad Alimentaria en America Latina y el Caribe.* Obtenido de www.fao.org

- FERRARI, RA *et.al.* 2010. *Producción e uso de biodiesel etílico na UEPG*. Obtenido de http://uepg.br/propesp/publicatio/exa/2004_6/06.pdf
<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0100s/i0100s05.pdf>. (21 de octubre de 2012).
- GONZALES VALDES, ROBERTO. *et al.* 2010. Consumo de Combustible de los Motores de Combustion Interna. *Ciencia Tecnica Agricola, San Jose de las Lajas*. v.19 n.1.
- KYOTO, P. D. 1977. *Convencion Marco sobre el Cambio Climatico de las Naciones Unidas*. Kyoto.
- LIZUNDIA, F. L. 2006. *El Mundo Motor*.
- MINAG. 2008. *Direccion Regional de San Martin*. Obtenido de www.minag.gob.pe
- MINEM. 2008. *Sector Energetico del Peru*. Lima.
- MINEM. 2009. *Sector Electrico documento promotor*.
- Portal de Informacion y noticias sobre biodiesel y energias renovables*. 2008. Obtenido de http://www.biodiesel.com.ar/?page_id=4
- SAGARPA. 2009. *Programa de Produccion Sustentable de Insumos para Bioenergeticos y de Desarrollo Cientifico y Tecnologico*. Mexico: p.18.
- Technology, I. I. 2008. Obtenido de www.itdg.org
- UFOP. 2003. *Union Zur Foerderung Von Oelund Proteinpflancene V*. Obtenido de www.ufop.de
- WEARCHECAKIBERICA. 2004. *Boletin Mensual sobre Lubricacion y Mantenimiento*.
- ZINGG, A. 2004. *Evaluacion de la Potencia, torque, consumo de combustible y emision de particulado en un motor empleando petroleo diesel y biodiesel*. Lima.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Condiciones climáticas y edáficas para la producción del Piñón.

Altura y temperatura.

La planta crece en alturas de 0 a 1,500 msnm, pero la mejor altura para la producción intensiva es de 0 a 500 msnm. Es resistente al calor (temperaturas promedio anuales de más de 20°C).

Agua.

Crece en un rango de 250 a 2 000 mm de precipitación anual y puede resistir largos periodos de sequía. Para una producción intensiva requiere 800 a 1 200 mm de agua distribuida durante todo el año. Es posible la instalación de riego por goteo.

Suelos.

Crece en todo tipo de suelos hasta levemente salino y pedregoso, se prefieren suelos arenosos o franco arenoso bien drenados. El piñón tolera valores de pH en el suelo de hasta 8.5; una acidez con pH menor de 5.2 causa una restricción severa en el crecimiento.

Fruto.

Capsula del tamaño de una nuez, tricoclulares por lo general, con una semilla por lóbulo.

Semilla

Es de color negro con pequeñas manchas pardas. La semilla tiene una cubierta coriácea y endosperma muy desarrollado. La almendra está protegida por una membrana delgada. La almendra es blanca; aceitosa y de sabor algo dulce.

Producción de plántones en almacigo.

Las semillas frescas recolectadas deben ser secadas. Se debe enjuagar las semillas por 12 horas en una solución de agua con baja concentración de fertilizante antes de sembrarlas y guardarlas otras 12 horas bajo láminas plásticas para acelerar la germinación.

Las semillas se siembran en bolsas plásticas o directamente en el campo de almácigos.

La cama de almacigo está conformada por una parte de arena, una parte de tierra y una parte de humus. Las plantas emergen después de 10 a 20 días. La edad de trasplante al campo definitivo es cuando los plantones tengan de 5 a 7 semanas de edad.

Trasplante en el campo.

Las distancias más frecuentes de siembra varían entre 2x2; 2.5x 2.5; 3x3m, correspondiendo a 2,500, 1,600 y 1,111 plantas por hectárea y dependiendo de la fertilidad del suelo. Los plantones deben ser sembrados en hoyos de 30x30x60 cm y la tierra para llenarlos debe ser mezclada con aproximadamente 10 Kg. De abono orgánico y 5 gr de fertilizante completo por planta (25 TM de abono por 1 ha aprox.)

Poda

El rendimiento de la planta depende mucho de la cantidad de ramas, porque es en los terminales donde se forman las flores y frutas. Para favorecer la cosecha es necesario mantener el árbol bajo, es decir de no más de 2 m de altura, por ello es sumamente importante hacer una poda apropiada.

Cuando la planta tenga de 90 a 120 días de edad, los tallos de las plantas deben ser cortados a una altura de 25 cm del suelo, luego las terminales de las ramas horizontales se cortan para estimular la formación de ramas secundarias. Las secundarias también se podan para inducir ramas terciarias. Siguiendo así hasta el fin del segundo año el arbolito debe tener entre 24 y 36 ramas productivas.

Después de 10 años es recomendable cortar todo el árbol a 1m de altura. Así se rejuvenece y después de un año de recuperación mantiene un alto rendimiento de producción.

Riego

La plantación nueva necesita agua para establecerse. Si no es posible sembrar en la época de lluvias se debe regar.

Los árboles adultos de *Jatropha* resisten largos periodos de sequía, entran en dormancia, periodo durante el cual caen las hojas existentes y se interrumpe la formación de nuevas flores y hojas

Zonas productoras o aptas en el Perú para el cultivo del Piñón.

La planta crece en forma silvestre en el Norte del país, tanto en la costa, sierra y ceja de selva.

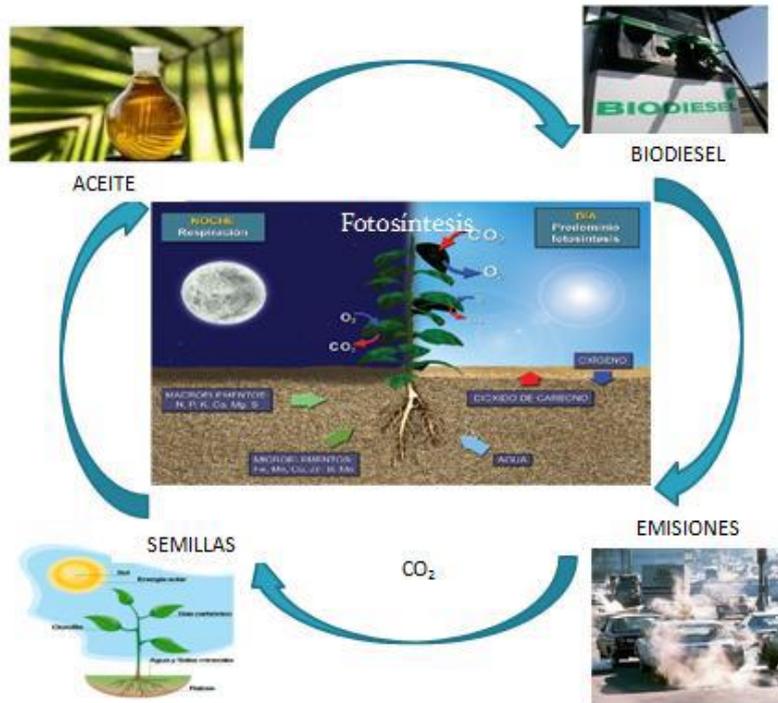
En muchos lugares del Perú, por ejemplo en Piura y los valles calientes de Cajamarca los cercos vivos de piñón son muy comunes. Sirven para prohibir el ingreso de animales a los terrenos cultivados.

En condiciones naturales con alternación de épocas secas y lluviosas se logra una cosecha de 1.5 t/ha a 5 t/ha de semillas una vez al año. Con riego se puede aumentar el rendimiento de 6 a 10 t/ha anuales, porque se seguiría cosechando todo el año, la variedad que se ha usado en el presente trabajo es el piñón blanco, procedente de Piura.

Anexo 2: Emisiones del biodiesel.

compuesto	Variación de emisiones (comparado con el diésel)
NOx	+2.0
PM	-10
(I)	-11
HC	-21

Una de las principales ventajas de la utilización del biodiesel es la reducción de las emisiones de CO₂, gracias al balance neutro de carbono en la combustión de biodiesel. Esto se muestra en la Figura



Ciclo del carbono. Fuente: Ing. Morayma Uribe Gómez

El biodiésel se obtiene a partir de aceite vegetal producido de semillas vegetales, provenientes de plantas que a su vez realizan mediante el proceso de la fotosíntesis la purificación del aire, absorbiendo CO₂ del ambiente.

Anexo 3: Principales características de combustibles.

Características	Unidades	Norma Peruana Diesel 2	Norma USA Biodiesel	Biodiesel palma	Biodiesel aceite usado	Diesel N° 2
Punto de inflamación	°C	52	>130	154	146	
Agua y sedimentos	% volumen, (máx.)	0.10	0.05	0.070	0.040	
Carbón conradson	% masa (máx.)	0.35	<0.05	0.41		
Cenizas	% masa (máx.)	0.02		0.006		
Temperatura de destilación	al 90%, °C	282 - 357	360	343.0		336
Viscosidad cinemática	cSt a 40°C	2.0 - 5.8	1.9-6.0(mm ² /s)	4	2.95	
Corrosión en lámina de cobre	3 h, 50°C	lámina n° 3	< n° 3	01:00 a.m.		
Número de cetano (mínimo)		45.0	>47	48.6	51.5	
Gravedad API	a 60°F			29.9		34
Poder calorífico bruto	kJ/kg			40346	44129	
	BTU/lb			17346	18972	
Poder calorífico neto	kJ/kg			39054		42331
	BTU/lb			16790		18199

Anexo 4: Principales normas que regulan las actividades eléctricas.

Norma	Numero norma	Fecha
Ley de Concesiones Eléctricas	DL N° 25844	19/11/1992
Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas.	DS N°009-93-EM	25/02/1993
Código Nacional de Electricidad	RM N°037-2006- MEM/DM	30/01/2006
Reglamento de seguridad e Higiene Ocupacional del subsector Electricidad.	RM N°161-2007- MEM/DM	01/04/2009
Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos	DS N°002-2008-EM	
Norma Técnica “Uso de la electricidad en Minas”	RM N°308-2001- EM/VME	16/07/2001
Norma Técnica “Símbolos gráficos de Electricidad”	RM N° 091-2002	
Norma Técnica “Terminología en Electricidad”	RM N° 091-202	
Norma DGE “Conexiones Eléctricas en Baja Tensión en zonas de Concesión de Distribución”	LEY N°29178	02/01/2008
Norma Técnica “Contraste del Sistema de Medición de Energía Eléctrica”		
Norma Técnica de calidad de los servicios eléctricos Rurales	NORMA DGE	NOV. 2005
	RD-N°016-2008- EM/DGE	

Anexo 5: Número de centrales y grupos eléctricos por empresas generadoras.

1. Para el mercado eléctrico

N°	Principales Empresas	Número de centrales	Número de Grupos	Hidráulicas		Térmicas				
				N° Centrales	N° Grupos	N° Centrales	Número grupos			
							EL	TG	TV	CC
1	Agro Industrial Paramonga S.A.A	1	1			1			1	
2	Central Hidroeléctrica de Langui S.A	1	2	1	2					
3	Chinango SAC	2	3	2	3					
4	Cia. Hidroeléctrica San Hilarion S.A	1	1	1	1					
5	Cia. Eléctrica el Platanal S.A	1	2	1	2					
6	Consorcio Eléctrico Huancavelica S.A	3	8	3	8					
7	Duke Energy Egenor S.A	12	33	3	11	9	17	5		
8	EDEGEL S.A.A	8	26	5	15	3		7	1	3
9	Edelnor S.A.A	6	12	5	10	1	2			
10	Eléctrica Santa Rosa S.A.C	2	2	2	2					
11	Electro Dunas S.A.A	1	1			1	1			
12	Electro Oriente S.A	40	115	6	15	34	100			
13	Electro Puno S.A.A.	1	3	1	3					
14	Electro Sur Este S.A.A	13	37	9	19	4	18			
15	Electro Ucayali S.A	3	9	1	3	2	6			
16	Electrocentro S.A	19	39	16	29	3	10			
17	Electro noroeste S.A	13	31	6	11	7	20			
18	Electronorte Medio S.A - HIDRANDINA	17	38	11	26	6	12			
19	Electronorte S.A	14	24	9	16	5	8			
20	Electroperú S.A	4	13	2	10	2	3			
21	Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa S.A	9	24	6	14	3	5	2	2	1
22	Empresa de Generación Eléctrica del Sur S.A	4	9	2	3	2	6			
23	Empresa de Generación Eléctrica Machupicchu S.A	2	11	1	3	1	8			
24	Empresa de Generación Eléctrica San Gabán S.A	3	10	1	2	2	8			
25	Empresa de Generación y Comercialización de Servicio Público de	1	2	1	2					
26	Empresa de Interés Local Hidroeléctrica Chacas S.A	2	2	2	2					
27	Empresa Eléctrica de Piura S.A	3	4			3		4		
28	Energía del Sur S.A	5	14	1	3	4	1	5	5	
29	Generación Eléctrica Atocongo S.A	1	7			1	7			

30	Generadora de Energía del Perú S.A	1	2	1	2					
31	Hidroeléctrica Santa Cruz S.A.C	2	4	2	4					
32	ICM- Pachapaqui S.A.C	4	7	2	5	2	2			
33	INADE-Proyecto Especial Chavimochic	4	7	3	6	1	1			
34	Kallpa Generación S.A	1	3			1		3		
35	Maja Energía S.A.C	1	2	1	2					
36	Minera Colquirumi S.A	1		1						
37	SDF ENERGIA S.A.C	2	3			2		1	2	
38	Shougang Generación Eléctrica S.A.A	1	4			1	1		3	
39	Sindicato Energético S.A	3	6	3	6					
40	SN Power Peru S.A	11	29	11	29					
41	Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A	13	29	7	13	6	16			
42	Sociedad Minera Corona S.A	3	4	3	4					
43	TERMOSELVA S.R.L	1	2			1		2		
TOTAL MERCADO ELECTRICO		240	585	132	286	108	252	29	14	4

EL: GRUPO ELECTROGENO TG: TURBINA A GAS TV: TURBINA A VAPOR CC: CICLO
COMBINADO

Fuente: Generación de energía eléctrica-MINAM-2010

2. Para uso propio.

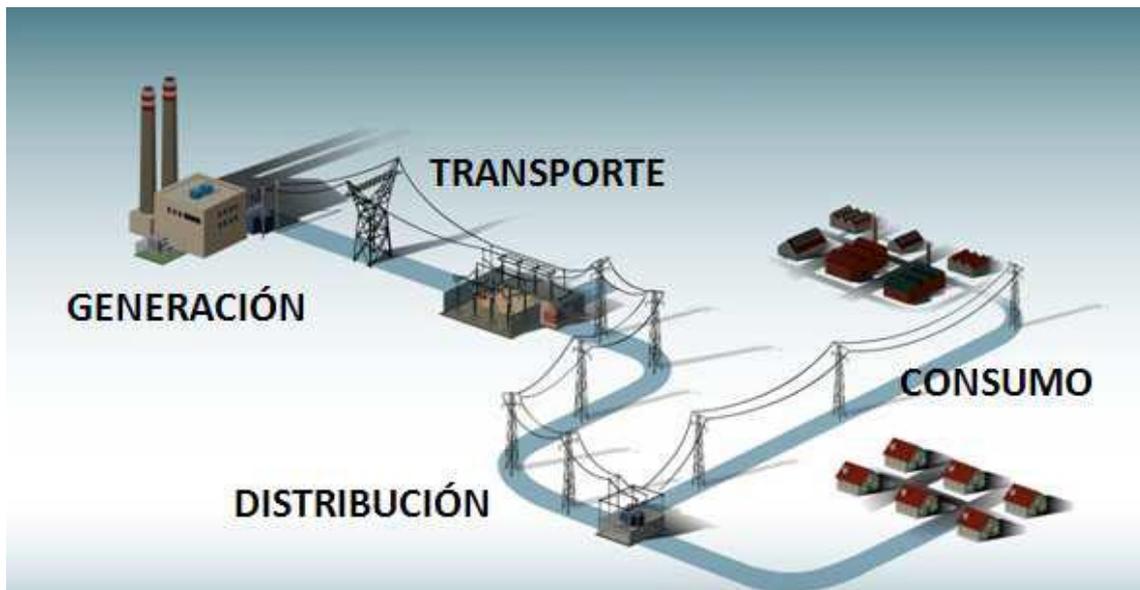
N°	Principales empresas	Número total de centrales	Hidráulicas	Térmicas		
			N° de centrales	N° de Centrales		
				EL	TG	TV
1	Agrícola del Chira S.A	1				1
2	Aguaytia Energy del Perú SRL	1			1	
3	Alicorp S.A	8		8		
4	Aruntani S.A.C	2		2		
5	Austral Group S.A.A- Planta Chancay	1		1		
6	Austral Group S.A.A- Planta Coishco	1		1		
7	Austral Group S.A.A- Planta Huarmey	1		1		
8	Austral Group S.A.A- Planta Pisco	1		1		
9	Castrovirreyna Compañía Minera S.A	2	1	1		
10	Cement Andino S.A	3	2	1		
11	Cement Pacasmayo S.A.A	1				1
12	Cementos Selva S.A	1		1		
13	Cía. De exploraciones Desarrollo e Inv. Mineras	1		1		
14	Cía. Minera Ares S.A.C – Unidad Arcata	1		1		

15	Cía. Minera Ares S.A.C – Unidad Ares	1		1		
16	Cía. Minera Ares S.A.C – Unidad Selene	1		1		
17	Cía. Minera Ares S.A.C – Unidad Sipán	1		1		
18	Cía. Minera Casapalca S.A	2		2		
19	Cía. De Minas Buenaventura S.A.A	6	2	4		
20	Cía. Goodyear del Perú S.A	1		1		
21	Cía. Hidroeléctrica Tingo S.A	1	1			
22	Cía. Minera Agregados Calcareos S.A	1		1		
23	Cía. Minera Atacocha S.A.A.	2	2			
24	Cía. Minera Milpo S.A	2	1	1		
25	Cía. Minera Poderosa S.A	3	1	2		
26	Cía. Minera Raura S.A.	1	1			
27	Cía. Minera San Ignacio de Morococha S.A	2	1	1		
28	Cía. Minera San Nicolas S.A.	2	1	1		
29	Cía. Minera San Valentín S.A	1	1			
30	Cía. Minera Santa Luisa S.A	3	1	2		
31	Cía. Minera Sayapullo S.A.	3	2	1		
32	Cía. Pesquera del Pacifico Centro S.A.	3		3		
33	Complejo Agroindustrial Cartavio S.A.A.	1				1
34	Consorcio Minero Horizonte S.A.	1		1		
35	Corporación Pesquera Coishco S.A	1		1		
36	Corporación Pesquera Inca SAC-Huarmey	1		1		
37	Empresa Administradora Chungar S.A.C	11	10	1		
38	Empresa Agroindustrial CasaGrande S.A.A	2		1		1
39	Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A	1				1
40	Empresa Explotadora Vinchos LTDA S.A.C	1		1		
41	Empresa Minera los Quenuales S.A- Unididad Isc.	2		2		
42	Filamentos Industriales S.A	1		1		
43	Industrias Electroquímicas S.A	1		1		
44	Inkabor S.A.C	2		2		
45	Maple Etanol S.R.L	2		2		
46	Metalúrgica Peruana S.A	1		1		
47	Minera Arirahua S.A	1		1		
48	Minera Aurifera retamas S.A	1		1		
49	Minera Bateas S.A.C	1		1		
50	Minera Huallanca S.A.C	2		2		
51	Minera La Zanja S.R.L	1		1		
52	Minera Yanacocha S.R.L	8		8		
53	Minera Yanaquihua S.A.C	1		1		

54	Minsur S.A	3		3		
55	Negociacion Pesquera del Sur S.A	1		1		
56	PERU LNG S.R.L	2			2	
57	Pesquera Diamante S.A – Planta Mollendo	1		1		
58	Pesquera Diamante S.A – Planta Pisco	1		1		
59	Pesquera Exalmar S.A – Huacho	1		1		
60	Pesquera Exalmar S.A – Tambo de Mora	1		1		
61	Pesquera Némesis S.A.C	1		1		
62	Petrobras Energia del Perú S.A	1		1		
63	Petroperú S.A – Operaciones Oleoducto	9		9		
64	Petroperú S.A.- Refinación Selva	1		1		
65	Pluspetrol Perú Corporation S.A – Lote 1AB	3		3		
66	Pluspetrol Perú Corporation S.A – Lote 8	9		9		
67	Pluspetrol Perú Corporation S.A – Malvinas	1			1	
68	Pluspetrol Perú Corporation S.A – Pisco	1			1	
69	Procesadora Fruticola S.A	1		1		
70	Quimpac S.A	1				1
71	Refinería La Pampilla S.A	1			1	
72	Regusea Agroindustrial S.A	1	1			
73	Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A.	2		1	1	
74	Sociedad Minera Corona S.A	1		1		
75	Sociedad Minera El Brocal S.A.	5	4	1		
76	Southern Perú Cooper Corporation	3	1	2		
77	Sudamericana de Fibras S.A	1		1		
78	Tecnológica de Alimentos S.A.- Planta Vegueta	1		1		
79	The Maple Gas Corporation del Perú	4		4		
80	Trupal S.A.	1				1
81	Unión de Cerveceras Peruanas Backus y Johnston	6		6		
82	Volcán Compañía Minera S.A.A.	6		6		
83	Vopak Serlipsa S.A.	1		1		
84	Votorantim Metais Cajamarquilla S.A.	5		3		2
85	Xstrata Tintaya S.A.	1		1		
TOTAL USO PROPIO		181	33	132	7	9

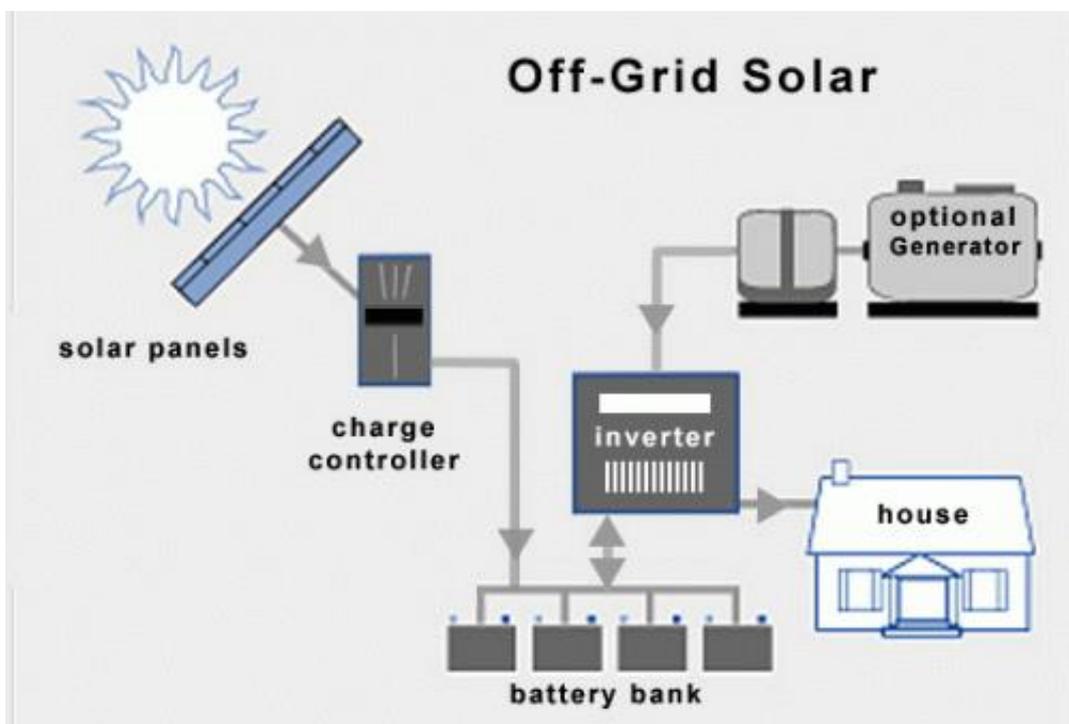
Fuente: Generación de energía eléctrica-MINAM-2010

Anexo N°6: Sistema eléctrico ON GRID.



Fuente: centro tecnológico de España

Anexo 7: Sistema eléctrico OFF GRID.



Anexo 8: Tipo de combustibles usados en las centrales térmicas *

Tipo de Combustible	Unidad de medida	Empresa que generan para		Total
		Mercado eléctrico	Uso propio	
Bagazo	Toneladas	212 974	1 331 714	1 544 688
Carbón	Toneladas	393 153	71 961	465 115
Diesel 2	Galones	23 665 610	28 765 743	52 431 353
Gas Natural	Metros cúbicos	3 074 866 520	165 695 463	3 240 561 982
Residual 6	Galones	28 345 014	25 331 570	53 676 584
Residual 500	Galones	36 837 975	104 594	36 942 569
Gas refineraía	Metros cúbicos	---	24 566 344	24 566 344
Vapor	Toneladas	317 045	---	317 045
Otro	Galones	38 299 082	---	38 299 082

Gas Refinería: Volumen obtenido a partir de los gases calientes del proceso industrial utilizado para la generación de energía eléctrica

Vapor: Cantidad de vapor obtenido en el sistema de cogeneración de la C.T. Oquendo (1TG +2TV)

Otro: Cantidad equivalente de Residual 500 obtenido del vapor para la generación de energía eléctrica

(*): Sólo de las empresas que informan al MINEM / DGE

Anexo 9: Biodiesel(B100) - Especificaciones

Proyecto de Norma Técnica Peruana PNT 321.125

Propiedad	Método de ensayo(a)	Biodiesel B100	Unidades
Contenido de calcio y magnesio combinado	EN 14538	5 máx.	ppm (µg/g)
Punto de inflamación (copa cerrada)	ASTM D93	93 min.	°C
Control de alcohol (uno de los siguientes deben ser cumplidos):			
10.5.1 Contenido de metanol	EN 14110	0.2 máx.	% volumen
10.5.2 Punto de inflamación	ASTM D93	130.0 min.	°C
Agua y sedimento	ASTM D2709	0.050 máx.	% volumen

Viscosidad cinemática a 40°C	ASTM D445	1.9 – 6.0 (b)	mm ² /s
Ceniza sulfatada	ASTM D874	0.020 máx.	% masa
Azufre (c)	ASTM D5453	0.0015 máx.	% masa ppm
Corrosión a la lámina de cobre	ASTM D130	N°1	
Numero cetano	ASTM D613	47 min	
Punto nube	ASTM D 2500	Reportar (d)	°C
Residuo de carbón(e)	ASTM D4530	0.050 máx.	% masa
Numero de acidez	ASTM D664	0.50 máx.	Mg KOH/g
Glicerina libre	ASTM D6584	0.020 máx.	% masa
Glicerina total	ASTM D6584	0.240 máx.	% masa
Contenido de fosforo	ASTM D4951	0.001 máx.	% masa
Temperatura de destilación Temperatura del 90% de recuperado equivalente a presión atmosférica	ASTM D1160	360 máx.	°C
Contenido de sodio y potasio, combinado	EN D14538	5 máx.	ppm (µg/g)
Estabilidad a la oxidación	EN 14112	3 min.	Horas

- (a) Los métodos de ensayo indicados son los aprobados como métodos dirimentes.
- (b) El límite de viscosidad 6.0 mm²/s es mayor que el del combustible diésel derivado del petróleo que deben tenerse en cuenta cuando se mezclan.
- (c) Pueden ser de aplicación otras limitaciones del contenido de azufre en determinadas áreas del territorio nacional.
- (d) El punto de nube del biodiesel es generalmente mayor que el del combustible diésel derivado del petróleo lo que debe tomarse en cuenta cuando se mezclan, o cuando se use como B100 puro.
- (e) El residuo de carbón debe ser realizado sobre el 100% de la muestra.

Anexo 10: Norma Europea CEN 14214

Parámetro	Norma	Unidades	UNE EN 590 Gasoleo A	CEN 14214 Biodiesel
Densidad a 15°C	En ISO 12185	g/cm ³	0.820-0.845	0.860-0.900
Viscosidad cinemática a 40°C	En ISO 3104	cSt	2.0-4.5	3.5- 5.0
Punto de inflamación	ISO/DIS 3679	°C	55 min.	120 min.
Azufre	EN ISO 14596	ppm	50 máx.	10 máx.
Residuo Carbonoso (10%)	EN ISO 10370	%	0.30 máx.	0.30 máx.
Contaminación Total	EN 12662	ppm	24 máx.	24 máx.
Agua	EN ISO 12937	ppm	200 máx.	500 máx.
Corrosión al cobre	EN ISO 2160	-	Clase 1	Clase 1
Estabilidad oxidación	EN ISO 12205	mg/l	25 máx.	6 h min.
Numero de cetano	EN ISO 5165	-	51 min.	51 min.
POFF* Invierno verano	EN 116	°C	-10 0	Depende del país.
Cenizas Sulfatadas	ISO 3987	%		0.02 máx.
TAN	EN 141042	mgKOH/g		0.5 máx.
Metanol	EN 14110	%(m/m)		0.2 máx.
Monoglicéridos	EN 14105	%(m/m)		0.8 máx.
Diglicéridos	EN 14105	%(m/m)		0.2 máx.
Triglicéridos	EN 14105	%(m/m)		0.2 máx.
Glicerina libre	EN 14105-06	%(m/m)		0.02 máx.
Glicerol Total	EN 14105	%(m/m)		0.25 máx.
Contenido en Ester	EN 14103	%(m/m)		96.5 min.
Esteres Metílicos de ác. Linolénico y poli- insaturados	EN 14103	%(m/m)		Máx. 12 ester metílicos Max.1 poli-ins.
Índice de Yodo	EN 14111	-		120 máx.
Fosforo	EN 14107	mg/Kg		10 máx.
GI: Sodio + Potasio	EN 14108-09	mg/Kg		5 máx.
GII: Calcio+Magnesio	EN14538	mg/Kg		5 máx.

*punto de obstrucción de filtro frio (POFF)- Boletín wearcheckiberica N°7-2004

Anexo 11: Norma Americana ASTM-D6751

Propiedades del combustible	Unidades	Diésel	Biodiesel
Norma		ASTM D975	ASTM-D6751
Composición		C10-C21HC	C12-C22FAME
Viscosidad cinemática	cSt @40°C	1.3-4.1	1.9-6.0
Agua y sedimento	% Vol.		0.05 máx.
Residuo de carbón	% peso	0.35 máx.	0.05 máx.
Azufre	% peso	0.05 máx.	0.05 máx.
Cenizas sulfatadas	% masa	0.01 máx.	0.020
Corrosión en lámina de cobre			N°3 máx.
Punto de inflamación	°C	52 min.	130 min.
Numero de cetano		40 min.	47 min.
Temperatura de destilación 90% rec.	°C	282-338	360 máx.
Gravedad especifica	Kg/l @60°F	0.85	0.88
Numero de acidez	mg KOH/gr		0.80 máx.
Glicerina libre	% masa		0.020
Glicerina total	% masa		0.240
Contenido de fosforo	% masa		0.001 máx.

Anexo 12: Norma brasilera ANP 255 para Biodiesel

Propiedades del combustible	Unidades	Limite
Aspecto		LII
Masa específica a 20°C	Kg/ m ³	Anotar
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	Anotar
Agua e sedimentos	% volumen	0.05 máx.
Ponto de inflamación	°C	100 min.
Destilação sob pressão reduzida, 95% do volume recuperado	°C	300 máx.
Resíduo de carbono dos 10% destilados	% massa	0.10 máx.,
Cinzas sulfatadas	% massa	0.020 máx.
Enxofre total	% massa	0.001 máx.
Sodio + Potássio	mg/Kg	10 máx.
Corrosividade ao cobre	3 h a 50°C	1
Numero de Cetano		Min. 45

Punto de entupimiento de filtro a frio	°C	ANP 310
Índice de acidez	mg KOH/g	0.80 máx.
Glicerina libre	% massa	0.02 máx.
Glicerina total	% massa	0.38 máx.
Monoglicerídeos	% massa	1.00 máx.
Diglicerídeos	% massa	0.25 máx.
Triglicerídeos	% massa	0.25 máx.
Metanol ou etanol	% massa	0.50 máx.
Estabilidad a oxidação a 110°C	h	6 min.

Anexo 13: Niveles de alerta para contaminantes críticos

Tipo de alerta	Material Particulado (PM-10)	Dióxido de Azufre (SO ₂)	Monóxido de Carbono (CO)	Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)
Cuidado	> 250 µg/m ³ Prom. Aritmético 24 horas	> 500 µg/m ³ Prom. Móvil 3 horas	> 15 000 µg/m ³ Prom. Móvil 8 horas	1 500 µg/m ³ Prom. Aritmético 24 horas
Peligro	> 350 µg/m ³ Prom. Aritmético 24 horas	> 1 500 µg/m ³ Prom. Móvil 3 horas	> 20 000 µg/m ³ Prom. Móvil 8 horas	3 000 µg/m ³ Prom. Aritmético 24 horas
Emergencia	> 420 µg/m ³ Prom. Aritmético 24 horas	> 2 500 µg/m ³ Prom. Móvil 3 horas	> 35 000 µg/m ³ Prom. Móvil 8 horas	> 5 000 µg/m ³ Prom. Aritmético 24 horas

Fuente: Jorge Gutiérrez Sisniegas (La contaminación del aire por emisiones Gaseosas y su regulación en el Perú)

Anexo 14: Opacidad para vehículos mayores a Diésel

Vehículos mayores a Diésel (livianos, medianos y pesados)		
Año de fabricación	Opacidad (m ⁻¹)	Opacidad %
Antes de 1995	3.0	72
1996 en adelante	2.5	65
2003 en adelante	2.1	60

Anexo 15: PANEL FOTOGRAFICO DEL TRABAJO DE CAMPO



Foto 1: Granos de Piñón con cáscara y pelado



Foto 2 : Aceite puro de piñón



Foto 3: Biodiesel de Piñón



Foto 4: Mezcla de D-2 + biodiesel



Foto 5:Planta de prueba eléctrica



Foto 6: Tablero de carga eléctrica



Foto 7: Medición de consumo combustible

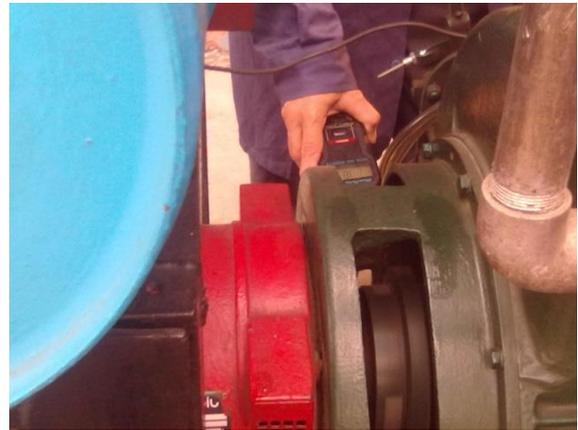


Foto 8: Medición de rpm en planta

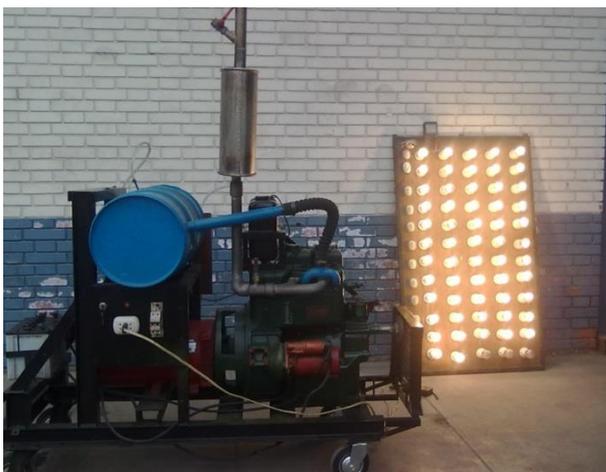


Foto 9: Medición de carga eléctrica plena



Foto 10: Medición del amperaje



Foto 11: Medición de particulado



Foto 12: Opacímetro



Foto 13: parte del opacímetro

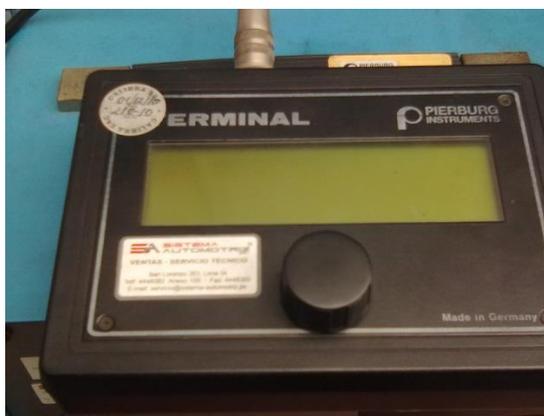


Foto 14: consola del opacímetro



Foto 15: Pinza amperimetrica y Tacómetro



Foto 16: pesado de mezclas