



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN
CON LA COLECTIVIDAD**

**MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
II PROMOCIÓN**

TESIS DE GRADO MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**TEMA: "ESTUDIO DE LA SUSTITUCIÓN DE DIESEL POR
BIODIESEL EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA
MARCA DEUTZ PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA APLICADA EN LAS ISLAS GALÁPAGOS"**

AUTOR: GUIJARRO ALTAMIRANO YOLANDA MERCEDES

DIRECTORA: ING. MUÑOZ FLORINELLA Ph.D.

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR

La suscrita Ing. Florinella Muñoz Ph.D., con cédula de identidad N° 1704582020, en calidad de Directora de Tesis de la Maestría en Energías Renovables,

CERTIFICA

Que la presente tesis de grado que lleva como título, "ESTUDIO DE LA SUSTITUCIÓN DE DIESEL POR BIODIESEL EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MARCA DEUTZ PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA APLICADA EN LAS ISLAS GALÁPAGOS" realizado por la Ingeniera Yolanda Guijarro, de nacionalidad ecuatoriana, con cédula de identidad N° 0603863010, como requisito para la obtención del título de Magíster en Energías Renovables, II Promoción de la ESPE, fue desarrollada bajo mi dirección y asesoría. La misma que cumple con los requerimientos científicos, tecnológicos y académicos, razón por la cual autorizo su presentación y defensa.

Sangolquí, julio de 2015



Ing. Florinella Muñoz Ph.D
DIRECTORA DE TESIS

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

YOLANDA MERCEDES GUIJARRO ALTAMIRANO

DECLARA QUE:

El proyecto de posgrado denominado , "ESTUDIO DE LA SUSTITUCIÓN DE DIESEL POR BIODIESEL EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA MARCA DEUTZ PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA APLICADA EN LAS ISLAS GALÁPAGOS", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, julio de 2015



Ing. Yolanda Guijarro Altamirano
AUTOR

AUTORIZACIÓN

Yo,

YOLANDA MERCEDES GUIJARRO ALTAMIRANO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, la publicación en la biblioteca de la Institución, el trabajo titulado "Estudio de la sustitución de diesel por biodiesel en un motor de combustión interna marca Deutz para la producción de energía eléctrica aplicada en las Islas Galápagos", cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, julio de 2015.



Ing. Yolanda Guijarro Altamirano
AUTOR

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi hija, Daniela Sabina Salazar Guijarro, mi princesita que asistió junto conmigo a mis clases de la maestría, estando en mi vientre supe que me estabas apoyando siempre, y ahora que te tengo espero ser en algún momento una inspiración en tu vida y que Dios me permita verte crecer, llena de bendiciones para que llegues mucho más lejos que yo.

Este título también se lo dedico a mis padres, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, ya que con su esfuerzo y cariño me guiaron y me dieron la oportunidad de ser profesional, de todo corazón esto es para ustedes mis padres amados, que Dios me los bendiga y me de la dicha de disfrutar junto a ustedes muchos logros más.

Yolanda Guijarro

Julio, 2015

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por todas las bendiciones recibidas a lo largo de mi vida, tuve la oportunidad de formarme profesionalmente y trabajar en lo que me preparé, esto me ha permitido disfrutar día a día de las actividades que ejecuto en el campo laboral, aprovechando gratamente la oportunidad de continuar aprendiendo.

Siguiente, en lo más profundo de mi corazón agradezco enormemente a mi amado esposo Juan Sebastián Salazar y a mi hermosa hija, Sabina Salazar, quienes fueron el motor que me impulsó a seguir adelante, gracias infinitas a mis dos amores por todo el tiempo que tuve que sacrificar para dedicarme a mis estudios y tesis de postgrado, los amo con todo mi corazón.

También agradezco a mis padres quienes me dieron la oportunidad de iniciar mi formación profesionalmente ya que sin su apoyo no hubiera sido posible llegar hasta este punto, el cual no es la cumbre, tan sólo es un paso más a lo largo del camino del aprendizaje.

No puedo dejar de agradecer cordialmente, a la Ing. Florinella Muñoz Ph.D., Jefe del Departamento de Ciencias Nucleares de la EPN, quien me supo guiar y colaborar con su conocimiento y experiencia profesional, para la realización de este trabajo, gracias "mi Doc" por toda su colaboración, paciencia y amistad.

Finalmente agradezco a las autoridades de la institución en la cual laboro, expreso un agradecimiento especial al Ing. Juan Carlos López, Gerente de la Unidad de Negocio Termopichincha, de CELEC E.P., quien autorizó el auspicio del trabajo que se presenta a continuación.

A todos ustedes, muchas gracias.

Yolanda Guijarro

Julio, 2015

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR.....	ii
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
1 FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	1
1.1.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL.....	1
1.1.2 CICLO DIESEL.....	2
1.1.3 FILTRACIÓN DE FLUIDOS.....	5
1.1.4 LUBRICACIÓN	6
1.1.5 COMBUSTIÓN	8
1.2 EMISIONES A LA ATMÓSFERA DE FUENTES FIJAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A DIESEL	9
1.2.1 MARCO LEGAL AMBIENTAL PARA EMISIONES AL AIRE.....	9
1.3 BIOCOMBUSTIBLES	10
1.3.1 VENTAJAS DEL USO DE BIODIESEL	12
1.3.2 DESVENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL	13
1.3.3 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL	14
1.3.4 COMPARACIÓN ENTRE DIESEL Y BIODIESEL	16
1.3.5 LEGISLACIÓN ECUATORIANA INHERENTE A BIOCOMBUSTIBLES	18
1.4 APLICACIONES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES SEGÚN LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL ECUADOR	22
1.4.1 PERSPECTIVAS DE LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA.....	22
1.4.2 PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA.....	23
1.4.3 EMISIONES DE CO ₂ PRODUCIDAS POR LOS COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	25
2 PARTE EXPERIMENTAL.....	27
2.1 MATERIALES Y EQUIPOS	27

2.2	ACONDICIONAMIENTO E INSTALACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	28
2.2.1	OPERACIONES DE AJUSTE EN EL MOTOR.....	28
2.2.2	INSPECCIÓN DE LOS COJINETES.....	29
2.2.3	AJUSTE DE SOPORTES ANTIVIBRATORIOS.....	30
2.2.4	INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE.....	30
2.2.5	REACONDICIONAMIENTO DE LOS CABEZOTES.....	32
2.2.6	SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE DEL MOTOR.....	33
2.2.7	SISTEMA DE AIRE DE ADMISIÓN Y GASES DE ESCAPE.....	34
2.2.8	SISTEMA ELÉCTRICO DEL MOTOR.....	35
2.3	PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR.....	36
2.3.1	SISTEMAS AUXILIARES PARA OPERAR EL MOTOR CON CARGA.....	36
2.3.2	PRUEBAS DE ARRANQUE DEL MOTOR CON CARGA.....	39
2.4	PRUEBAS CON LAS DIFERENTES MEZCLAS DE DIESEL Y BIODIESEL.....	39
2.5	ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LOS INSUMOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	41
2.6	MONITOREO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA Y MATERIAL PARTICULADO.....	42
2.7	PARADA Y REVISIÓN DEL MOTOR.....	43
2.7.1	REVISIÓN DE LAS CULATAS DEL MOTOR.....	44
2.7.2	REVISIÓN DE LAS CAMISAS DEL MOTOR.....	44
2.7.3	REVISIÓN DE LOS INYECTORES DEL MOTOR.....	44
2.8	ANÁLISIS DE LOS SELLOS DE CAUCHO DEL MOTOR.....	45
2.8.1	PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LOS SELLOS DE CAUCHO:.....	46
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
3.1	RESULTADOS DE LA OPERACIÓN DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ.....	47
3.2	RENDIMIENTOS ENERGÉTICOS DEL MOTOR.....	53
3.3	CÁLCULOS DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA.....	55
3.3.1	SIGNIFICANCIA DE LAS FUENTES FIJAS DE EMISIÓN.....	55
3.3.2	CONTAMINANTES EMITIDOS A LA ATMÓSFERA.....	56
3.4	ESTADO MECÁNICO DEL MOTOR AL FINALIZAR LAS PRUEBAS.....	60
3.4.1	ESTADO FINAL DE LAS CULATAS DEL MOTOR.....	60
3.4.2	ESTADO FINAL DE LAS CAMISAS DEL MOTOR.....	61
3.4.3	ESTADO FINAL DE LOS INYECTORES DEL MOTOR.....	62
3.5	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LOS COMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES.....	63
3.5.1	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES EN EL LABORATORIO.....	63
3.5.2	RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LOS ACEITES LUBRICANTES EN EL LABORATORIO.....	68
3.6	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LOS SELLOS DE CAUCHO.....	76
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	79
4.1	CONCLUSIONES.....	79
4.2	RECOMENDACIONES.....	81
5	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	82
6	ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna (combustibles líquidos).....	10
Tabla 2.	Especificaciones técnicas del diesel y biodiesel.....	16
Tabla 3.	Precios preferenciales de energías renovables no convencionales en el Ecuador	25
Tabla 4.	Detalle de los equipos utilizados durante la investigación.....	27
Tabla 5.	Detalle de los insumos utilizados durante la investigación	27
Tabla 6.	Métodos de medición de emisiones gaseosas	43
Tabla 7.	Datos promedio de los parámetros controlados durante la generación eléctrica del motor Deutz F4L912.....	47
Tabla 8.	ANOVA para la presión del motor por tipo de combustible	48
Tabla 9.	ANOVA para la temperatura del motor por tipo de combustible.....	49
Tabla 10.	ANOVA para el voltaje del generador por tipo de combustible.....	50
Tabla 11.	ANOVA para la corriente del generador por tipo de combustible	52
Tabla 12.	Rendimientos energéticos y consumos específicos, obtenido con los diferentes tipos de combustibles	53
Tabla 13.	Rendimiento del motor Deutz F4L912 con los diferentes tipos de combustibles.....	54
Tabla 14.	Determinación de la significancia del motor Deutz F4L912 con los diferentes tipos de combustibles	56
Tabla 15.	Contaminantes a la atmósfera emitidos por el motor Deutz F4L912.....	57
Tabla 16.	Cumplimiento de la Norma TULSMA de los contaminantes a la atmósfera emitidos por el motor Deutz F4L912.....	57
Tabla 17.	Datos obtenidos de los informes de resultados de los análisis de combustibles, emitidos por el Laboratorio de Control Químico de la Central Guangopolo de CELEC E.P. Termopichincha	64
Tabla 18.	Resultados promedio de los análisis físico químicos efectuados a los aceites lubricantes al operar con los diferentes combustibles en el motor.....	69
Tabla 19.	Porcentaje de variación en peso del sello de caucho de la bomba de inyección de combustible al someterlo a la acción de diesel y biodiesel a una T=50°C, durante 15 días.....	77
Tabla 20.	Porcentaje de variación en peso del sello de caucho corona de aceite al someterlo a la acción de diesel y biodiesel a una T=50°C, durante 15 días	77
Tabla 21.	Aforo del tanque de combustible del motor Deutz modelo F4L912 para cálculo del consumo de combustible	89
Tabla 22.	Modelo del registro de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912.....	90
Tabla 23.	Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con D100 (Diesel al 100%)	91
Tabla 24.	Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B10.....	92
Tabla 25.	Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B20.....	94

		x
Tabla 26.	Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B50.....	96
Tabla 27.	Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B100.....	98
Tabla 28.	Datos obtenidos de los informes de resultados de los análisis de aceites lubricantes, emitidos por el Laboratorio de Control Químico de CELEC E.P. Termopichincha.....	102
Tabla 29.	Datos obtenidos de los informes de resultados de los monitoreos de emisiones a la atmósfera, emitidos por la Unidad de Gestión Ambiental Guangopolo de CELEC E.P. Termopichincha y por un laboratorio externo.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Motor de explosión y sus partes	2
Figura 2.	Diagrama presión vs volumen del ciclo diesel	3
Figura 3.	Fases de un motor de combustión interna ciclo diesel (4 tiempos)	5
Figura 4.	Reacción de transesterificación de un triglicérido para producir biodiesel.....	15
Figura 5.	Generación de energía por tipo de tecnología para el período 2013 - 2022.....	23
Figura 6.	Emisiones de CO ₂ por tipo de combustible, período 2013 - 2022	26
Figura 7.	Ajuste de tuercas y pernos del motor	29
Figura 8.	Inspección de los cojinetes del motor	29
Figura 9.	Cojinetes nuevos listos para colocar en el motor	30
Figura 10.	Elementos del sistema de inyección de combustible.....	31
Figura 11.	Elementos de la bomba de inyección de combustible	31
Figura 12.	Bomba auxiliar de combustible	32
Figura 13.	Reacondicionamiento de los cabezotes del motor.....	33
Figura 14.	Elementos del cabezote del motor.....	33
Figura 15.	Elementos del sistema de aceite lubricante del motor.....	34
Figura 16.	Sistema de admisión de aire y gases de escape.....	35
Figura 17.	Elementos del sistema eléctrico del motor	35
Figura 18.	Sistema de transferencia de combustible instalado.....	37
Figura 19.	Sistema de control del motor y del generador	38
Figura 20.	Banco de resistencias eléctricas utilizado como carga del motor.....	38
Figura 21.	Diferencia significativa de la media de presión del motor, entre los diferentes tipos de combustibles	48
Figura 22.	Diferencia significativa de la media de temperatura del motor, entre los diferentes tipos de combustibles.....	50
Figura 23.	Diferencia significativa de la media del voltaje del generador, entre los diferentes tipos de combustibles.....	51
Figura 24.	Diferencia de la media de la corriente del generador, entre los diferentes tipos de combustibles	52
Figura 25.	Eficiencia del motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible.....	54
Figura 26.	Material Particulado emitido a la atmósfera por el motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible.....	58
Figura 27.	Óxidos de Nitrógeno emitidos a la atmósfera por el motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible	58
Figura 28.	Óxidos de Azufre emitidos a la atmósfera por el motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible.....	59
Figura 29.	Fotografías de las culatas del motor Deutz F4L912 al terminar todas las pruebas con biodiesel	61
Figura 30.	Fotografías de las camisas del motor Deutz F4L912 al terminar todas las pruebas con biodiesel	62
Figura 31.	Fotografías de los inyectores del motor Deutz F4L912 al terminar todas las pruebas con biodiesel	63
Figura 32.	Contenido de azufre en los diferentes combustibles	65
Figura 33.	Contenido de agua en los diferentes combustibles	66
Figura 34.	Contenido de vanadio y silicio en los diferentes combustibles	67
Figura 35.	Poder calorífico superior de los diferentes combustibles.....	68
Figura 36.	Viscosidad de los aceites lubricantes utilizados con los diferentes combustibles	70

Figura 37.	Número de neutralización (BN) de los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles.....	72
Figura 38.	Metales Ca, P y Zn contenidos en el paquete de aditivos de los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles.....	73
Figura 39.	Metales Mg, Ba y Mo contenidos en el paquete de aditivos de los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles.....	74
Figura 40.	Metales de desgaste contenidos en los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles.....	75
Figura 41.	Metales provenientes de contaminación contenidos en los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I	
Tabla 21. Aforo del tanque de combustible del motor Deutz modelo F4L912 para cálculo del consumo de combustible.....	89
ANEXO II	
Tabla 22. Modelo del registro de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912.....	90
ANEXO III	
Tabla 23. Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con D100 (Diesel al 100%).....	91
ANEXO IV	
Tabla 24. Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B10.....	92
ANEXO V	
Tabla 25. Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B20.....	94
ANEXO VI	
Tabla 26. Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B50.....	96
ANEXO VII	
Tabla 27. Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B100.....	98
ANEXO VIII	
Tabla 28. Datos obtenidos de los informes de resultados de los análisis de aceites lubricantes, emitidos por el Laboratorio de Control Químico de CELEC E.P. Termopichincha.....	102
ANEXO IX	
Tabla 29. Datos obtenidos de los informes de resultados de los monitoreos de emisiones a la atmósfera, emitidos por la Unidad de Gestión Ambiental Guangopolo de CELEC E.P. Termopichincha y por un laboratorio externo.....	104

RESUMEN

La presente investigación se ha desarrollado con el objetivo de contribuir a la diversificación de la matriz energética del Ecuador, y plantear el uso de biodiesel principalmente en zonas protegidas como las Islas Galápagos. Es así que entre noviembre de 2013 a enero de 2014, se realizaron pruebas de combustión, para determinar el desempeño de un motor de combustión interna con el uso de biodiesel, para generación de energía eléctrica. El motor fabricado originalmente para operar con diesel, en el cual se efectuaron las pruebas fue un motor marca Deutz, modelo F5L912, que tiene una potencia nominal de 35 kW. Los combustibles que se utilizaron fueron D100, B10, B20, B50 y B100 durante un total de 645 h del motor en operación continua. Se efectuaron monitoreos de contaminantes a la atmósfera, y se encontró que a medida que se incrementaba el contenido de biodiesel en la mezcla el material particulado se mantenía constante, los óxidos de nitrógeno incrementaban y los óxidos de azufre se reducían. Se monitoreó el aceite lubricante mediante el análisis físico-químico en laboratorio al utilizar el aceite ultradiesel SAE15W40 API CI-4/SL como lubricante. Por otro lado también se realizaron pruebas de resistencia de los cauchos que sirven de sellos en los elementos constitutivos del motor para determinar la afectación que sufren al estar en contacto con D100 o B100, y se determinó que existe un mayor deterioro al estar en contacto con biodiesel. Es así que con este estudio se determinó el desempeño del motor al operar con diesel, biodiesel y mezclas proporcionales de diesel y biodiesel.

PALABRAS CLAVES:

- **BIODIESEL**
- **MOTORES DIESEL**
- **ACEITE LUBRICANTE**
- **EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

ABSTRACT

This work was developed with the objective of contributing to the diversification of the energy matrix of Ecuador, and propose the use of biodiesel mainly in protected areas such as the Galapagos Islands. Thus, between november 2013 to january 2014, combustion tests were effected to determine the performance of an internal combustion engine using biodiesel to power generation. The engine originally manufactured to operate with diesel, in which the tests were performed, was a Deutz engine F5L912 model, it has a nominal power of 35 kW. The fuels used were D100, B10, B20, B50 and B100 in a total of 645 h of continuous motor operation. Were monitored the air pollutants, and it was found that if the content of biodiesel in the blend was increased the particulate matter remained constant, the nitrogen oxides increased and the sulfur oxides reduced. The lubricant oil was monitored by physico-chemical analysis in laboratory using the oil Ultradiesel SAE15W40 API CI-4/SL as a lubricant. Moreover endurance of rubbers used stamps in the constituent elements of the engine to determine the effects that suffer when in contact with D100 or B100 were also determined, there was a further deterioration with biodiesel. Thus, with this study, the performance of the engine was determined when operated with diesel, biodiesel and proportional blends of diesel and biodiesel.

KEY WORDS:

- **BIODIESEL**
- **DIESEL ENGINES**
- **LUBE OILS**
- **ATMOSPHERIC EMISSIONS**

1 FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

1.1.1 MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA DIESEL

El ingeniero alemán Rudolf Diesel en el año 1892, presentó en el *Kaiserlichen Patentamt* de Berlín, la solicitud de patente de su invención que mencionaba Mayr (1953): "el émbolo de trabajo comprime tanto aire puro en un cilindro que la temperatura resultante de la compresión es considerablemente mayor que la temperatura de inflamación del combustible que se ha de utilizar, después de lo cual se efectúa la introducción gradual del combustible a partir del punto muerto..." (p. 1). Todos los motores diesel trabajan aún en la actualidad, de acuerdo con este principio, de forma general.

Los motores de combustión interna diesel son motores de encendido por compresión que producen energía a partir de la combustión de una mezcla de combustible líquido con aire (Kates & Luck, 1982, p.443). El aire al ser fuertemente comprimido alcanza condiciones de presión y temperatura que al momento que se inyecta el combustible, este se inflama espontáneamente (Escudero, González, Rivas, & Suárez, 2011, p. 16).

En los motores de combustión interna, la mezcla carburante se quema dentro del cilindro para producir trabajo mecánico, se puede apreciar en la Figura 1 las partes de un motor. La energía primaria es la química, la cual está contenida en el combustible, la gran cantidad de energía liberada por la combustión, ocasiona un gran aumento de presión dentro del cilindro, que permite mover el pistón del motor. Mediante un movimiento recíproco del pistón se comunica el movimiento al eje del cigüeñal a través de un brazo de conexión denominado biela. La biela efectúa un movimiento oscilante y el eje del cigüeñal un movimiento rotatorio (Gilardi, 1985, p. 12).

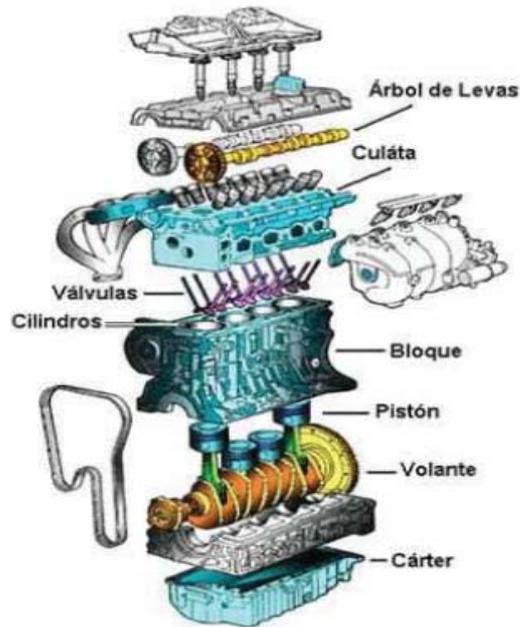


Figura 1. Motor de explosión y sus partes
Fuente: (Asensio, 2011)

1.1.2 CICLO DIESEL

En un motor a diesel las propiedades químicas del combustible son aprovechadas para producir la combustión, en este caso el aire es comprimido hasta alcanzar una temperatura por encima de la de autoignición del diesel y posteriormente el combustible se inyecta en este aire caliente, para producir su combustión, todo esto a diferencia de lo que sucede en la cámara de combustión de un motor a gasolina, en donde la acción de una chispa produce la ignición del combustible. Es así que se considera que los motores a diesel operan mediante un modelo simplificado del denominado ciclo diesel, como se puede ver en la Figura 2 (Universidad de Sevilla, 2013).

De acuerdo a los ciclos que opera un motor, se pueden clasificar a estos en motores de dos tiempos y de cuatro tiempos. En el motor diesel de dos tiempos el motor completa su ciclo en una sola revolución del cigüeñal, es decir, en dos carreras del pistón; mientras que en el motor de cuatro tiempos el cigüeñal ejecuta dos vueltas, lo que corresponde a cuatro viajes del pistón para completar su ciclo (Gilardi, 1985, p. 27).

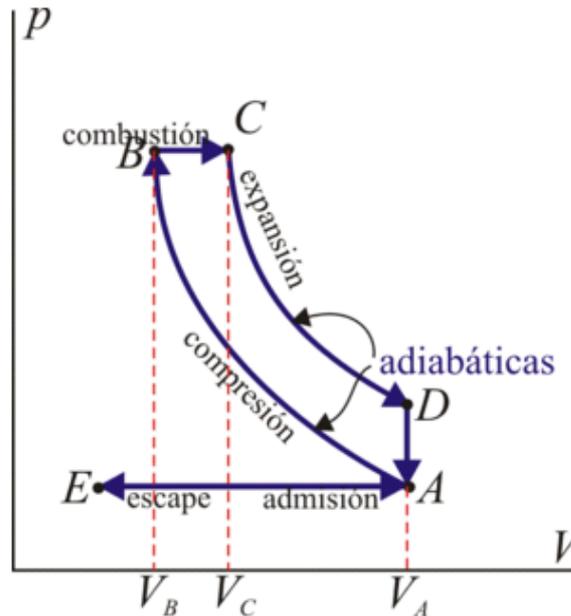


Figura 2. Diagrama presión vs volumen del ciclo diesel
Fuente: (Universidad de Sevilla, 2013)

El ciclo diesel consta de seis tiempos o carreras, donde se anulan mutuamente dos de estos ($E \rightarrow A$ y $A \rightarrow E$):

1.1.2.1 Admisión ($E \rightarrow A$)

El pistón desciende por el cilindro, desde el denominado punto muerto superior, con la válvula de admisión abierta, lo que permite el ingreso de aire fresco a la cámara de combustión. Este tiempo se modela como una expansión a presión constante, debido que al estar la válvula de admisión abierta y las válvulas de escape cerradas la presión es igual a la exterior. En el diagrama PV aparece como una recta horizontal (Muñoz & Rovira, 2014, p. 197).

1.1.2.2 Compresión ($A \rightarrow B$)

En este tiempo el pistón sube desde el llamado punto muerto inferior, comprimiendo el aire, hasta el punto muerto superior, esto mientras las válvulas de admisión y escape se mantienen cerradas. Este proceso se realiza muy rápidamente por lo que se supone que el aire no tiene posibilidad de intercambiar calor con el ambiente, este tiempo se modela

como un proceso adiabático reversible $A \rightarrow B$. El incremento de temperatura del aire es hasta alrededor de 600°C y la presión final alcanzada en esta carrera se encuentra entre los 30 a 50 bar (Gil, 2007, p. 183)

1.1.2.3 Combustión ($B \rightarrow C$)

Por medio de un inyector, el combustible ingresa a la cámara de combustión, lo hace antes que el pistón llegue a su punto muerto superior y continua hasta cuando empieza a bajar. Este tiempo dura mas con relación a la combustión que se produce en el ciclo Otto. De tal manera que este paso se representa como una adición de calor a presión constante. Este paso es el único que diferencia el ciclo diesel del ciclo Otto. (de Castro, 1987, p. 19).

1.1.2.4 Expansión ($C \rightarrow D$)

Los gases generados durante el proceso de combustión salen con una temperatura bastante elevada, y empujan al pistón hacia el punto muerto inferior. Este proceso al igual que la compresión también es muy rápido, por lo que su diseño se representa como una curva adiabática reversible (Universidad de Sevilla, 2013, párr. 8).

1.1.2.5 Escape ($D \rightarrow A$ y $A \rightarrow E$)

En el cuarto tiempo del ciclo diesel, los gases de combustión salen a la atmósfera una vez que se abre la válvula de escape, el pistón se desplaza desde el punto muerto inferior hasta el punto muerto superior a una temperatura mayor que la inicial. Los gases producidos son evacuados y sustituidos por la misma cantidad de aire fresco que ingresa por la válvula de admisión. Cuando el pistón está en su punto muerto inferior, el volumen permanece relativamente constante y se representa graficamente mediante la isócora $D \rightarrow A$. El ciclo se cierra finalmente cuando el pistón empuja el aire hacia el exterior, con la válvula abierta, este punto se representa como una isóbara $A \rightarrow E$ (Editorial CEP, 2010, p. 235).

En total el ciclo se compone de cuatro carreras, razón por la cual se considera un ciclo de cuatro tiempos, como se representa en la Figura 3. Pese a que este nombre se suele utilizar generalmente para los motores de gasolina (Gilardi, 1985, p. 27).

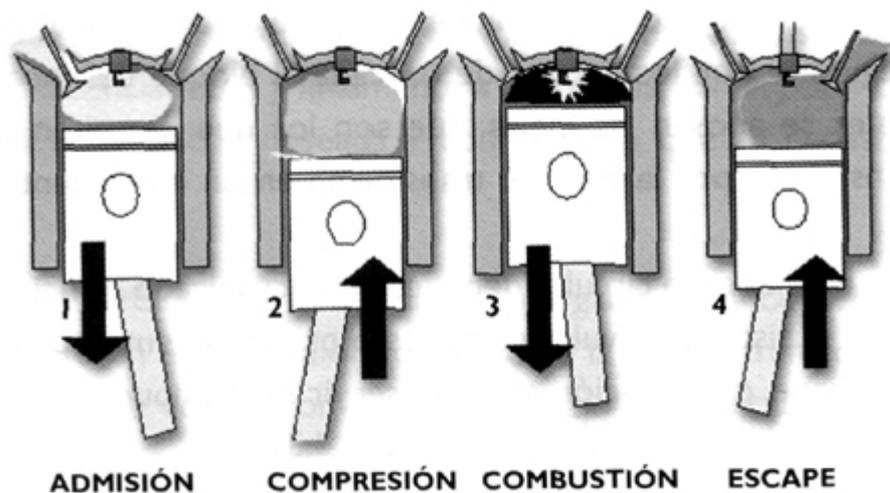


Figura 3. Fases de un motor de combustión interna ciclo diesel (4 tiempos)
Fuente: (Montenegro, 2011)

1.1.3 FILTRACIÓN DE FLUIDOS

La filtración del aire, aceite lubricante y combustible es de gran importancia para eliminar partículas abrasivas presentes en los fluidos que van a circular por el motor. Los filtros permiten separar y retener los diferentes tamaños de partículas que, contenidas en el aire de ingreso, en el aceite lubricante o en el combustible, pueden constituirse en una causa muy importante de desgaste en el motor (Tormos, 2005, p. 18).

1.1.3.1 Filtración del aire

El aire que ingresa al proceso de combustión en el motor, lo hace básicamente, a través del circuito de admisión. Este contiene impurezas cuya cantidad y composición varían según el ambiente en cual se encuentra ubicado el motor. El enemigo número uno presente en el aire es el silicio, que no se encuentra en forma elemental sino como sílice (SiO_2); aproximadamente el 70% de la composición del polvo presente en la

atmósfera es silicio; la contaminación del aceite lubricante por silicio es la causa más importante del desgaste acelerado en el motor. Los filtros de aire en buen estado son capaces de retener el 99% del polvo que pasa a través de los mismos y el 1% restante entra al motor (Peralta, 2012, p. 135).

1.1.3.2 Filtración del aceite lubricante

La filtración del aceite lubricante es importante para eliminar los productos de la combustión y de la propia degradación del aceite, puesto que pueden causar depósitos en los circuitos de engrase, pueden acelerar el desgaste, o únicamente causar deficiencias en el funcionamiento del motor (Peralta, 2012, p. 137)

1.1.3.3 Filtración del combustible

La filtración del combustible es fundamental en los motores diesel, ya que el buen funcionamiento de las bombas de inyección y de los inyectores están dados por la limpieza del combustible, las impurezas que se pueden encontrar en los combustibles comprenden herrumbre, sustancias minerales, agua y productos de la oxidación (Peralta, 2012, p. 137)

1.1.4 LUBRICACIÓN

La lubricación en un motor tiene por finalidad la reducción de la fricción entre dos superficies metálicas en contacto y que se encuentran en movimiento relativo. Mediante la reducción de la fricción se puede reducir el desgaste de las piezas y, de esta manera, asegurar su tiempo de vida útil (Mideros, 2013, p. 3)

Entre los objetivos principales de la lubricación están la reducción del rozamiento y el desgaste así como la reducción del consumo de energía, la eliminación del calor generado, arrastre de los contaminantes y prevención de herrumbre y corrosión (Mora, 2007, p. 9).

El grado de refinación del combustible utilizado tiene una relación directa en cómo se va a quemar el combustible y por ende el efecto que va a tener sobre el lubricante. La mayor parte de los productos de la combustión son evacuados a la atmósfera por el sistema de escape, pero una significativa proporción de los mismos fuga entre los segmentos y la camisa contaminando el aceite, lo cual puede causar efectos adversos. La participación del aceite lubricante en la formación de los depósitos es importante, puesto que el aceite se quema en la cámara de combustión, y da lugar a una gran formación de depósitos; los elementos metálicos que resultan de la combustión del aceite y de sus aditivos vienen a añadirse a los depósitos (Peralta, 2012, p. 138).

Una de las maneras de evidenciar la degradación del aceite lubricante, es por medio de los procesos de oxidación, que generan productos de descomposición como cetonas, ésteres o ácidos carboxílicos, que están constituidos por el grupo funcional carbonilo ($C=O$). Los ácidos carboxílicos contribuyen a la acidificación del aceite y al consumo de la reserva alcalina del mismo, debido al proceso de neutralización que cumple el aceite lubricante como una de sus funciones principales. Cuando los procesos de oxidación del aceite se producen de manera continua se generan problemas de corrosión y un incremento en la viscosidad del aceite lubricante utilizado en el motor.

El aceite lubricante también se degrada por fenómenos de nitración, los cuales se producen por el paso de los gases de combustión procedentes de los cilindros, hacia el tanque de almacenamiento del aceite, conocido comúnmente como, cárter del motor. La nitración es generada por la reacción del aceite lubricante con los óxidos de nitrógeno producidos por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante el proceso de combustión. El espesamiento del aceite forma depósitos de lacas y barnices como causa del proceso de nitración generado en el mismo (Tormos, 2005, p. 103).

1.1.4.1 Contaminación del aceite lubricante con combustible

Cuando existe contaminación del aceite lubricante con combustible, se produce una dilución del aceite lubricante lo cual puede ser verificado por medio de (Tormos, 2005, p. 96):

- Su viscosidad, puesto que el combustible diesel es menos viscoso que el aceite y cuando el diesel se mezcla con el aceite produce una reducción en su viscosidad.
- Su punto de inflamación, puesto que al existir combustible que contamina el aceite lubricante, su punto de inflamación disminuirá.

1.1.4.2 Contaminación del aceite lubricante con agua

La contaminación de aceite con agua se produce por la condensación de esta sustancia en el interior de los motores como consecuencia de las bajas temperaturas o el aumento de la presión en el cárter. La presencia de agua puede producir corrosión de los metales y degradación del propio aceite (Peralta, 2012, p. 151).

1.1.5 COMBUSTIÓN

Producto de la elevada presión en el segundo tiempo (compresión) del ciclo termodinámico diesel, se incrementa la temperatura del aire. Y a través de los pequeños orificios del inyector ingresa el combustible atomizado a la cámara de combustión, que al mezclarse se inflama muy rápidamente, lo que ocasiona que los gases producto de la combustión se expandan e impulsen el pistón hacia abajo (Viteri & Jaramillo, 2011, p. 28). Cuando un motor diesel opera a plena carga, el rendimiento del motor es bueno, pero también lo es cuando trabaja a carga reducida o media carga. Cuando funciona a media carga consume aproximadamente un 10% más de combustible si se compara con el consumo correspondiente a la operación a plena carga; a diferencia de lo que sucede en otros motores, en los cuales el consumo de combustible incrementa notablemente cuando la carga se reduce (Kates & Luck, 1982, p. 42)

1.2 EMISIONES A LA ATMÓSFERA DE FUENTES FIJAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A DIESEL

En Ecuador se utiliza para la operación de motores de autoignición el combustible denominado "Diesel N° 2", de acuerdo con lo especificado en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 489:99. El Diesel N°2 debe tener hasta un máximo de 0,7% de azufre en peso y un índice de cetano mínimo de 45 (INEN, 2012, p. 2).

1.2.1 MARCO LEGAL AMBIENTAL PARA EMISIONES AL AIRE

La normativa ambiental nacional, aplicable a fuentes fijas de emisiones al aire, se encuentra definida en el Libro VI de la Calidad Ambiental del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Esta normativa ambiental pertenece a la Ley de Gestión Ambiental, que se ejecuta conforme lo indicado en el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental (RLGAPCCA) y al Reglamento Ambiental para Actividades Eléctrica (RAAE). En el 2007 se promulgaron las Normas Técnicas Ambientales para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para el sector de Infraestructura Eléctrico (Registro Oficial N°41, 2007, p. 2)

Particularmente, en el Anexo 3A, Norma de Emisiones al Aire desde Centrales Termoeléctricas, se establecen los límites máximos permisibles de emisión para centrales termoeléctricas que utilizan tecnologías de calderos generadores de vapor, turbinas a gas y motores de combustión interna. Se establecen además, los requerimientos para el monitoreo y reporte de emisiones (Registro Oficial N°41, 2007, p. 25-26).

Los límites máximos permisibles de emisión, definidos para motores de combustión interna se citan en la Tabla 1, dichos límites dependen de la fecha en que dio inicio la operación de la fuente a analizar, y se toma como referencia el año 2003.

Tabla 1.

Límites máximos permisibles de emisiones al aire para motores de combustión interna (combustibles líquidos)

Contaminante emitido	Combustible utilizado ^[1]	Valor a partir de enero del 2003	Valor antes de enero del 2003	Unidades ^[2]
Partículas totales	Líquido	150	350	mg/Ndm ³
Óxidos de nitrógeno	Líquido	2 000	2 300	mg/Ndm ³
Dióxido de azufre	Líquido	1 500	1 500	mg/Ndm ³

Notas: ^[1] Combustibles líquidos comprenden los combustibles fósiles líquidos, tales como diesel, kerosene, búnker C, petróleo crudo, naftas.

^[2] mg/Ndm³: miligramos por metro cúbico de gas, a condiciones normales, mil trece milibares de presión (1 013 mbar) y temperatura de 0 °C, en base seca y corregidos a 15% de oxígeno.

Fuente: (Registro Oficial N°41, 2007)

El numeral 4.1.1.2 del Anexo 3 del Libro VI del TULSMA establece que serán designadas como fuentes fijas significativas aquellas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos, gaseosos, o cualquiera de sus combinaciones, y cuya potencia calorífica (heat input) sea igual o mayor a tres millones de vatios (3×10^6 W). En lo que respecta a fuentes significativas, estas son objeto de monitoreo de emisiones al aire y, por lo tanto, de la aplicación de los límites máximos permisibles de emisión establecidos en la normativa ambiental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2007, p.378).

1.3 BIOCOMBUSTIBLES

Mediante el uso de biodiesel en las Islas del Archipiélago de Galápagos, se pretende contribuir con el desarrollo de la iniciativa: “Cero combustibles fósiles para Galápagos” mediante la cual se busca eliminar por completo las fuentes de energía contaminantes en las Islas Galápagos (Ministerio de Energía, 2007, párr. 3).

El uso de biodiesel permite disminuir las emisiones de gases que provocan el efecto invernadero. Se ha comprobado que el uso de una

tonelada de biodiesel evita la producción de 2,5 t de dióxido de carbono (CO_2) y principalmente elimina, las emisiones de azufre (SO_2) (Chávez, Gallegos, & Tapia, 2010, p. 65).

En Ecuador, la palma africana tiene gran potencial para la producción de biodiesel, por cada hectárea de palma se producen aproximadamente 12 030 L de biodiesel (Bouille, Bravo, Héctor, & Nadal, 2008, p. 22).

El Ecuador ocupa el segundo lugar como productor de aceite de palma en la región, con el 15,1% de la producción regional; Colombia se encuentra como el líder con el 31,6 % de la producción y Honduras está en tercer lugar con el 11,2% (Dueñas, 2013, p. 9 - 10).

La producción nacional de aceite crudo de palma en 1993 fue de 152 537 t, desde entonces la producción de aceite se ha incrementado y en el año 2014 se estimó en 540 000 t. El consumo nacional de aceite crudo de palma se encuentra en alrededor de las 215 000 t y quedan alrededor de 325 000 t de excedentes que son exportados a otros países. El rendimiento del aceite crudo de palma es de 2,57 t/ha/año (Instituto de Promoción de exportaciones e Inversiones, 2014, p. 6). La densidad promedio del aceite crudo de palma a 20°C corresponde a 0,91 kg/L (Heess, 2011, p. 2).

El biodiesel tiene características ideales de degradación, la biodegradación de una sustancia se cuantifica mediante la captura del CO_2 formado en un recipiente, estudios realizados mediante el método de evolución de CO_2 para medir la biodegradabilidad del biodiesel y compararla con la del combustible diesel 2 convencional, demuestran que el biodiesel es biodegradable, un 80,4 - 91,2% después de 30 días, mientras que el diesel 2 sólo alcanza un 24,5% de biodegradación (Demirbaş, 2008, p. 169-170). Al mezclar biodiesel con combustible diesel de petróleo, también se aceleró la biodegradabilidad total del combustible mezclado. Es así que mezclas de B20 (20% de biodiesel y de 80% de diesel), se pueden llegar a degradar dos veces más rápido que el diesel fósil (Peterson & Reece, 1994, p. 2).

El biodiesel puede ser utilizado en estado puro (B100) o puede ser mezclado con diesel de petróleo en la mayoría de las bombas de inyección diesel (Caterpillar Inc., 2010, p. 1-12).

En el año 2014 el consumo de combustible diesel utilizado para generación de energía eléctrica en Galápagos fue de 3 141 155 gal, con lo cual se generaron aproximadamente 42 372 MW de energía (CELEC E.P., 2015, p. 21-24).

1.3.1 VENTAJAS DEL USO DE BIODIESEL

Entre las ventajas del uso de biodiesel como combustible se puede indicar que:

- El consumo de biodiesel para generación de energía eléctrica permite reducir la contaminación ambiental y el consumo de combustibles fósiles. Y a la vez permite acceder a los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), definidos en el Protocolo de Kyoto, puesto que contribuiría a la reducción de emisiones de carbono, lo cual posibilitaría la venta de certificados de carbono, que servirían para financiar futuros proyectos en el Ecuador.
- Además, se podría reducir la importación de combustible diesel para generación de energía eléctrica.
- Por otro lado, se fomenta el desarrollo de la agroindustria, mediante el incentivo agrícola para plantar nuevos cultivos de plantas oleaginosas y la instalación de nuevas industrias para la producción de biodiesel a ser utilizado en generación eléctrica.
- El biodiesel posee una alta biodegradabilidad, comparable a la de la dextrosa (López, 2008, p. 13).

- El biodiesel al no contener azufre permite utilizar catalizadores para mejorar la combustión y minimizar los gases de escape contaminantes de la atmósfera (López, 2008, p. 13).

1.3.2 DESVENTAJAS DEL USO DEL BIODIESEL

Algunas de las desventajas que se presentan al utilizar biodiesel como combustible serían las siguientes:

- El biodiesel no es compatible con algunos metales, mezclas de biodiesel superiores a B20 pueden oxidarse y formar sedimentos tras el contacto a largo plazo con el plomo, zinc, estaño, cobre y aleaciones como el latón y el bronce (Caterpillar Inc., 2011, p. 9).
- Tiene diferentes propiedades disolventes y puede degradar las juntas de caucho natural y las mangueras en los motores de generación, por lo que este tipo de materiales deben ser reemplazados por juntas fabricadas en Vitón (FKM, fluoruro-elastómero) que no es reactivo al biodiesel. Mezclas superiores a B20 tiene un mayor riesgo, relacionado con la degradación de los elastómeros de los sellos y mangueras en general. Los motores construidos a principios de los años 90 utilizan juntas de Vitón y juntas tóricas de Vitón en el sistema de combustible y se conoce que el Vitón es compatible con el biodiesel, lo que no sucede con el Nitrilo, material del que están hechas las mangueras que típicamente son usadas en algunas líneas de transferencia de combustible y que no son compatibles con el biodiesel (Ganduglia et al., 2009, p. 46).
- El biodiesel es un medio excelente para la contaminación y crecimiento microbiano. La contaminación con microorganismos pueden causar corrosión en el sistema de combustible y taponamiento prematuro del filtro de combustible, de tal manera que se recomienda utilizar aditivos antimicrobianos apropiados .

- El biodiesel es altamente dependiente del costo de las materias primas utilizadas para su producción. Adicionalmente durante la producción del biodiesel se genera la glicerina como coproducto cuya purificación a grado técnico solo es viable para grandes producciones (López, 2008, p. 15).
- El biodiesel presenta una reducida estabilidad a la oxidación, su vida útil o tiempo máximo de almacenamiento es menor de seis meses. Cuando se requiera almacenar biodiesel por períodos de tiempo mayores es recomendable agregar aditivos estabilizantes. En este caso se pueden utilizar los estabilizadores tradicionales que se usan para los aceites vegetales como la TBHQ (Butil Hidroquinona Terciaria) que han demostrado ser más efectivos para el biodiesel que los aditivos comunes que se emplean para productos de petróleo (López, 2008, p. 16).

1.3.3 PROCESOS DE OBTENCIÓN DE BIODIESEL

El biodiesel es un combustible de origen vegetal que puede sustituir el diesel mineral. 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 Diesel” (R. García, 2010, p. 35).

El biodiesel se presenta en estado líquido y es obtenido a partir de recursos renovables como los aceites vegetales de soja, canola, girasol, palma y otros, y de igual manera puede ser obtenido de grasas animales, por medio de un proceso químico conocido como transesterificación. Las dos etapas de mayor importancia para obtener biodiesel son:

- La obtención de aceite vegetal desde su materia prima.
- La transformación química del aceite vegetal en un éster metílico o etílico.

Para que el aceite pueda ser utilizado en la fabricación los ésteres metílicos de ácidos grasos (FAMEs) es decir biodiesel, debe tener unas características definidas, el aceite en bruto debe ser sometido a un desgomado o lavado, filtración, neutralización, blanqueo y desodorización, luego de lo cual se obtiene un aceite RBD (Refinado, Blanqueado y Desodorizado) (Ganduglia et al., 2009, p. 3). Existen varios procesos para la transformación química del aceite vegetal en éster, los más importantes son procesos químicos como la esterificación y la transesterificación, aunque también se pueden usar procesos Enzimáticos o Supercríticos (Marticorena, 2010, p. 27)

El proceso de transesterificación fundamentalmente se basa en la mezcla de un aceite vegetal o grasa con un alcohol y un álcali. El producto de esta reacción química da como resultado biodiesel que se separa por decantación de su subproducto glicerol, al mantenerse un determinado tiempo en reposo (González, 2012, p.6). Este es uno de los procesos más utilizados comercialmente para obtener biodiesel a partir de aceites vegetales. En la reacción de transesterificación las moléculas de triglicéridos (con cadenas que tienen entre 15 y 18 carbonos) reaccionan con alcoholes de bajo peso molecular como etanol, metanol o propanol; para obtener ésteres y glicerina (García & García, 2006, p.40).

En la Figura 4, se pueden observar los reactivos y productos de una reacción de transesterificación.

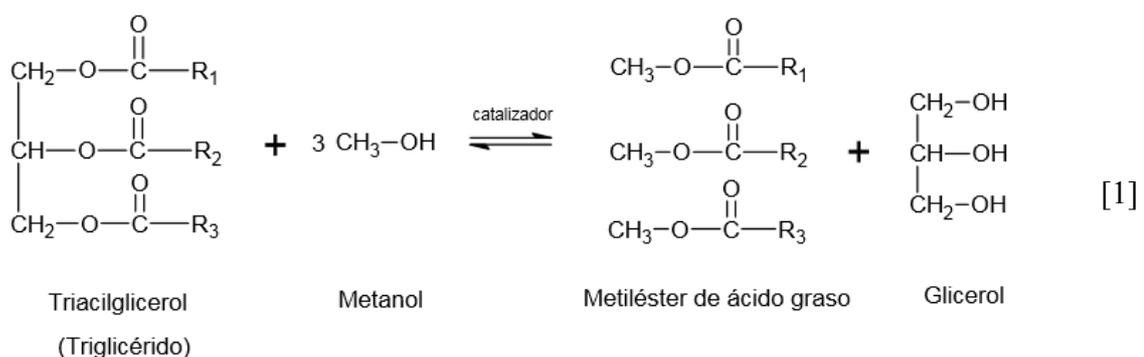


Figura 4. Reacción de transesterificación de un triglicérido para producir biodiesel
Fuente : (Zapata, Martínez, Arenas, & Henao, 2007)

Como catalizador de la reacción de transesterificación se pueden utilizar hidróxidos de sodio o potasio; pero al utilizar NaOH puede existir la formación de jabones los cuales son un problema en la síntesis del biodiesel. La conversión del aceite de palma hacia metiléster es alta en un tiempo de 1 h es cerca del 95% p/p a una temperatura de 65°C, estas reacciones alcanzan un equilibrio químico por lo que las conversiones nunca llegan hasta un 100 % p/p (Cardeño, Ríos, & Franco, 2010, p. 91)

1.3.4 COMPARACIÓN ENTRE DIESEL Y BIODIESEL

En la Tabla 2, se pueden apreciar algunas características técnicas del diesel y biodiesel y muchas de ellas presentan valores similares.

Tabla 2.

Especificaciones técnicas del diesel y biodiesel

Parámetro	Unidad	Especificación para biodiesel *	Especificación para diesel **
Densidad a 15 °C	kg/m ³	860 - 900	820
Punto de inflamación	°C	120 min.	51 min.
Contenido de Agua y sedimentos	% (v/v)	0,05 max.	0,05 max.
Viscosidad Cinemática, a 40 °C	mm ² /s	3,5 - 5,0	2,5 - 6,0
Cenizas Sulfatadas	% (m/m)	0,02 max.	0,01 max.
Contenido de Azufre	mg/kg	10 max.	7 000 max.
W Carbón Residual (en el 100% de la muestra)	% (m/m)	0,05 max.	0,15 max.
Corrosión Lámina de cobre	Clasificación	3 max.	3 max.
Número de Cetano	-	49 min.	45 min.
Temperatura de destilación al 90% recuperado	°C	360 max.	--
W, Glicerina Libre	%	0,02 max.	--
W, Glicerina Total	%	0,25 max.	--
W, Contenido de ésteres	%	96,5	--
Índice de yodo	g yodo/100g	120 max.	--
W, Contenido de metanol	%	0,20 max.	--
Contenido de Fósforo	mg/kg	10 max.	--
Alcalinos(Na+K)	mg/kg	5 max.	--
Alcalinos(Ca+Mg)	mg/kg	5 max.	--
Numero de acidez	Mg KOH/g	0,5 max.	--

Nota: min.: mínimo, max.: máximo

Fuente: *(INEN, 2013, p. 1); **(INEN, 2012, p. 2)

Las estrategias gubernamentales de varios países se encuentran buscando alcanzar la diversificación de las fuentes de energía que disponen y en algunos casos esperan que los biocombustibles puedan constituirse en una fuente de energía local sostenible, para evitar la importación de derivados de petróleo que causan grandes problemas de contaminación a nivel ambiental. A continuación se mencionan dos de los principales países productores de biocombustibles:

El gobierno brasileño ha demostrado ser un caso exitoso en el desarrollo y aplicación de los biocombustibles, al llegar a contar con autosuficiencia nacional en combustibles, lo cual significa que Brasil tiene la capacidad de producir toda la energía que consume. Para ello ha utilizado los recursos petroleros de la nación, su gran capacidad en generación hidroeléctrica, fuentes renovables que dispone, entre otros. Entre los recursos renovables están la elevada producción de etanol obtenido a partir, de caña de azúcar, que satisface alrededor del 38% de la energía que consumen los automóviles en Brasil (Beltrán et al., 2013, p. 18).

Pero aún el éxito obtenido por Brasil, es preocupante el conflicto que se genera en el uso del suelo para biocombustibles y alimentos, puesto que se convierte en una amenaza directa la producción global de alimentos y la seguridad alimentaria, al ser obtenidos el etanol y el biodiesel de materias primas que podrían tener uso alimentario (Pérez-Rodríguez, de Blas, Soto, Pontevedra-Pombal, & López-Periago, 2011, p. 342-343). Proyecciones de la demanda de tierra amazónica hasta el 2020, debido al crecimiento de la producción de biocombustibles ha impactado ya grandes áreas de bosque lo que se convierte en un importante problema que muy posiblemente demandará más tierra amazónica de la que se tenga disponible mediante la política ambiental brasileña (Walker, 2011. p- 929-930).

Otro de los países que ha aplicado exitosamente un plan de introducción de biocombustibles en su matriz energética, es Estados Unidos, el cual es uno de los mayores consumidores de energía en el mundo y su consumo

supera su capacidad de generación, viéndose obligado a importar energía para abastecer su demanda. Estados Unidos a más de ser uno de los principales productores de petróleo también hace uso de una gran variedad de fuentes de energía como la nuclear, la hidroeléctrica y renovables. Específicamente el avance en tecnologías de energía a partir de biocombustibles ha permitido la incorporación exitosa de esta alternativa en su matriz energética con gran impulso hasta el momento (SAGARPA, SENER, SE, SEMARNAT, & SHCP, 2010, p. 7).

1.3.5 LEGISLACIÓN ECUATORIANA INHERENTE A BIOCOMBUSTIBLES

A continuación se presenta un resumen de los decretos que respaldan el uso de los biocombustibles en el Ecuador.

1.3.5.1 Decreto Ejecutivo N° 270 publicado el (10 de Abril del 2007)

Este Decreto considera: que según la Constitución Política del Ecuador (1998) art. 86 y art. 23, dispone que "(...), el Estado garantiza y protege el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable". Además considera "que es necesario adoptar medidas y ejecutar acciones tendientes a impedir la degradación del hábitat y el impacto ecológico en el Parque Nacional Galápagos..."

Por lo cual se decreta: "Art. 1. (...), Declárese en riesgo y de prioridad nacional la conservación y el manejo ambiental del ecosistema del Archipiélago de Galápagos" (Decreto Ejecutivo N°270, 2007).

1.3.5.2 Decreto Ejecutivo N° 1831 publicado el (10 de Julio de 2009)

En este Decreto se considera "Que el artículo 14 de la Constitución (...), reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir".

"Que el art. 15 de la Constitución dispone que el Estado debe promover, (...), el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto".

"Que el art. 313 de la Constitución establece que el Estado se reserva el derecho de administrar, controlar y gestionar los sectores estratégicos, (según) los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia".

"Que el art. 413 (de la Constitución dice que) el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto(...).".

"Que mediante Decreto Ejecutivo N° 745(..) Se aprobó el Plan Nacional de Desarrollo que dentro de su objetivo 11, establece la política 11.16 de Diversificar la Matriz Energética Nacional".

Por lo cual decreta: "Art 1. transfírase las competencias (...) de coordinación para la producción, distribución y comercialización de biocombustibles,(...) al Ministerio de Coordinación de la Producción, Competitividad y Comercialización, con objeto de facilitar el cumplimiento de los planes, programas y proyectos (...) para implementar una política de biocombustibles (para) diversificar la matriz energética nacional(...)"

"Art. 2. (...) .La evaluación de gestión es competencia del Ministerio de Coordinación de la Producción, Competitividad y Comercialización." (Decreto Ejecutivo N°1831, 2009)

1.3.5.3 Decreto Ejecutivo 1303 del 17 de septiembre de 2012

Este decreto considera: "Que el artículo 413 de la Constitución dispone que el Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de

prácticas y tecnologías ambientalmente limpias (...) basadas en fuentes renovables de energía, diversificadas, de bajo impacto(..)"

“Que el Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversiones, tiene como fines (...) fomentar la producción nacional, comercio y consumo sustentable de bienes y servicios con responsabilidad social y ambiental, así como su comercialización y uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas (...).”

“Que mediante Resolución N° CNP-001 el Consejo Nacional de Planificación aprobó el Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013, y alcanzar el objetivo 4 de “(...) promover un ambiente sano y sustentable”, establece la política 4.3 “Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles”.”

“ Que INEN ha desarrollado las normas técnicas que establecen (...) los requisitos (que debe cumplir) el biodiesel.”

“Que el (...) biodiesel son biocombustibles que provienen de materias primas renovables del agro que, (...) pueden ser utilizados como (...) componentes en la preparación de (...) diesel que se comercializa en el país;”

“Que es necesario fomentar la producción y el consumo interno de biocombustible debido a la importancia estratégica de este sector y a sus efectos positivos sobre la seguridad y autosuficiencia energética del país”

“Que el desarrollo de los biocombustibles en el país servirá para el impulso del fomento agrícola nacional(...).”

“(...) con la finalidad de garantizar la libre competencia en la comercialización de biocombustibles es necesario establecer mecanismos de definición de precios de acuerdo con la realidad productiva nacional, con parámetros de referencia internacionales;”

Por lo cual decreta: “Art 1. Declárese de interés nacional el desarrollo de de biocombustibles en el país como medio para el impulso del fomento agrícola. La producción, el uso y el consumo de los biocombustibles responderán a una estrategia (...) de desarrollo rural precautelando la sostenibilidad ambiental” (Decreto Ejecutivo N°1303, 2012).

1.3.5.4 Iniciativa “Cero Combustibles Fósiles Para Galápagos” del MEER

Considera: “Que se requería adoptar medidas y ejecutar acciones tendientes a impedir la degradación del hábitat y el impacto ecológico (...) en el Parque Nacional Galápagos”.

“Que era necesario racionalizar la intervención del Estado a través de las instituciones involucradas en las acciones vinculadas con políticas, estrategias y proyectos en Galápagos”.

Que el “Gobierno declara en riesgo y de prioridad nacional la conservación y el manejo ambiental del ecosistema del Archipiélago de Galápagos (Decreto Ejecutivo 270)”

Por lo que: “Para la ejecución de la iniciativa en el ámbito de su competencia, el (MEER) se encuentra diseñando y ejecutando un conjunto de proyectos (...)” entre los que se encuentran:

“Sustituir la generación eléctrica basada en energía térmica de origen fósil, por energía renovable basada en los recursos: solar, eólico y biomasa.”

“Crear una cultura de adopción a las fuentes renovables de energía y del uso eficiente de la misma, a nivel de toda la población.” (Hofmann et al., 2008, p. 6-8).

1.4 APLICACIONES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES SEGÚN LA MATRIZ ENERGÉTICA DEL ECUADOR

1.4.1 PERSPECTIVAS DE LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA

Mediante el Plan Nacional del Buen Vivir ecuatoriano, establecido para el período 2013-2017 se encuentran definidas las proyecciones planteadas para el uso y aplicación de energías renovables, las cuales deberán ser ejecutadas por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) y por el Instituto de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER).

Por ser la matriz energética una herramienta importante y sistemática para la planificación, se constituye en un instrumento de uso fundamental al momento de tomar decisiones. Puesto que mediante esta se cuantifica la oferta y la demanda de energía en los diversos sectores así como también su transformación desde fuentes disponibles. La energía hidroeléctrica actualmente es una de las principales fuentes de energías renovables que está dentro de los planes estratégicos del gobierno ecuatoriano y satisface la mayor cantidad de demanda de energía en el país (Muñoz, 2014, p. 3).

La riqueza de un país generalmente se determina mediante el Producto Interno Bruto (PIB), el cual está relacionado directamente con su crecimiento energético, es por esta razón que se considera que existe crecimiento económico cuando existe abastecimiento sostenible de energía. El crecimiento medio de consumo de energía y del PIB a nivel mundial es del 2,5% anual (Ventura, 2009).

Lastimosamente mediante el PIB no se mide la cantidad de riqueza no renovable, que las actuales generaciones consumen y eliminan su uso a las futuras, por lo cual las pérdidas son irreversibles (Silva et al., 2012, p. 23)

El inventario de recursos de energía aprovechables en un país, en función de la evolución pasada y futura forman parte también de la matriz

energética, es así que al efectuar un análisis de la matriz energética conocida se puede planificar y asegurar el abastecimiento de energía en un país (Muñoz, 2014, p. 5).

En la Figura 5, se presenta la evolución proyectada de la generación por tipo de tecnología para el periodo 2013-2022. Se puede observar que los recursos energéticos, hacia el futuro se sustentan fundamentalmente en el aporte de energía hidroeléctrica, como resultado de los importantes proyectos actualmente en construcción y estudios (CONELEC, 2013, p. 36).

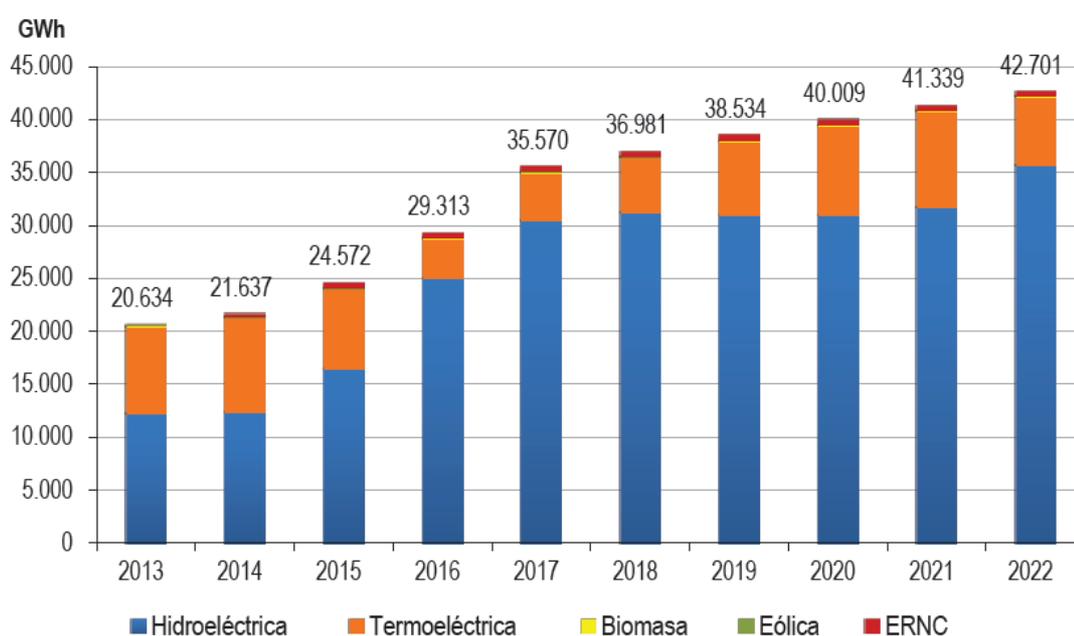


Figura 5. Generación de energía por tipo de tecnología para el período 2013 - 2022
Fuente: (CONELEC, 2013, p. 36)

1.4.2 PARTICIPACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN LA MATRIZ ENERGÉTICA ECUATORIANA

El Plan del Buen Vivir 2013–2017 ecuatoriano establece objetivos donde se señala que la participación de las energías renovables debe aumentarse en la producción nacional, en relación directa con los objetivos que se definan para mejorar la matriz productiva. Sin duda alguna para que se de cumplimiento a este objetivo, los proyectos del Plan Maestro de Electrificación se deberían ejecutar planificadamente; y paralelamente se

debería impulsar los proyectos de utilización de otras energías renovables tales como: geotermia, biomasa, eólica y solar (Silva et al., 2012).

Mediante la ejecución de proyectos eólicos y solares en algunos lugares del país se puede evidenciar el desarrollo que ha tenido el Ecuador en la aplicación de energías renovables (Muñoz, 2014, p. 28).

Con el cultivo de 300 ha de caña azucarera se espera obtener 800 millones de litros de alcohol para producir etanol anhidro hasta el año 2020, este proyecto se ha denominado Proyecto Nacional de Agroenergía que se está desarrollando en la provincia del Guayas en el cantón Naranjal. El rendimiento de una hectárea de caña es de aproximadamente 5 000 L de etanol anhidro, que constituye un 5% de la formulación de la gasolina ecopaís, que inició comercialmente a ser expendida en las gasolineras de Guayaquil en el año 2010, como una alternativa para disminuir la contaminación a la atmósfera por dióxido de carbono (CO₂). (Acosta, 2013, párr. 3, 7, 21)

Por otro lado el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, mediante la suscripción de un convenio en el cual participaron la Cooperación Técnica del Gobierno Alemán, el Instituto de Cooperación para la Agricultura, y 52 organizaciones de la provincia de Manabí, decidió comprar aceite puro de piñón, para sustituir al 100% el uso de diesel en la generación térmica en la Isla Floreana. Es así que dos grupos electrógenos están en operación desde el año 2011 y trabajan con mezclas aceite de piñón - diesel, con un aporte de 138 kW térmico dual (MEER, 2012, p. 13)

La Regulación CONELEC Nro. 001/13 que indica "*La participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales*" fue promulgada con el afán de impulsar la inversión tanto pública como privada cuando se utilicen recursos renovables no convencionales para generar energía eléctrica (Regulación N° CONELEC - 001/13, 2014, p. 3).

Los precios de la energía a pagar, medida en el punto de entrega se presentan en la Tabla 3, donde se detalla el cupo por tecnología de generación acoplada al Sistema Nacional Interconectado. Los precios preferenciales de la electricidad están definidos en la regulación CONELEC Nro. 001/13 para crear mayor confianza en las inversiones que se deriven de títulos habilitantes durante un plazo de 15 años hasta el 31 de diciembre de 2016. (Regulación N° CONELEC - 001/13, 2014, p. 5-6).

Tabla 3.

Precios preferenciales de energías renovables no convencionales en el Ecuador

Centrales	Territorio Continental (cUSD/kWh)	Territorio Insular Galápagos (cUSD/kWh)	Cupo por Tecnología (MW)
Eólicas	11,74	12,91	100
Solar termoeléctrica	25,77	28,34	10
Corrientes marinas	32,43	35,67	5
Biomasa y Biogás	11,08	12,19	100
Geotermia	13,81	15,19	200
Hidroeléctrica $C \leq 10$ MW	7,81		Sin cupo
Hidroeléctrica $10 < C \leq 30$ MW	6,86		Sin cupo
Hidroeléctrica $30 < C \leq 50$ MW	6,51		Sin cupo

Nota: C = Capacidad instalada

Fuente: (Muñoz, 2014, p. 36)

1.4.3 EMISIONES DE CO₂ PRODUCIDAS POR LOS COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El Plan de Expansión de Generación (PEG), a cargo de la Agencia de Control y Regulación de Electricidad (ARCONEL) fue concebido para solucionar el problema estructural de abastecimiento de energía eléctrica en el Sistema Nacional Interconectado ecuatoriano, y tiene directa relación con la cantidad de CO₂ emitidos a la atmósfera (CONELEC, 2013, p. 47).

En la Figura 6, se presentan las emisiones de CO₂ anuales, bajo un escenario hidrológico promedio.

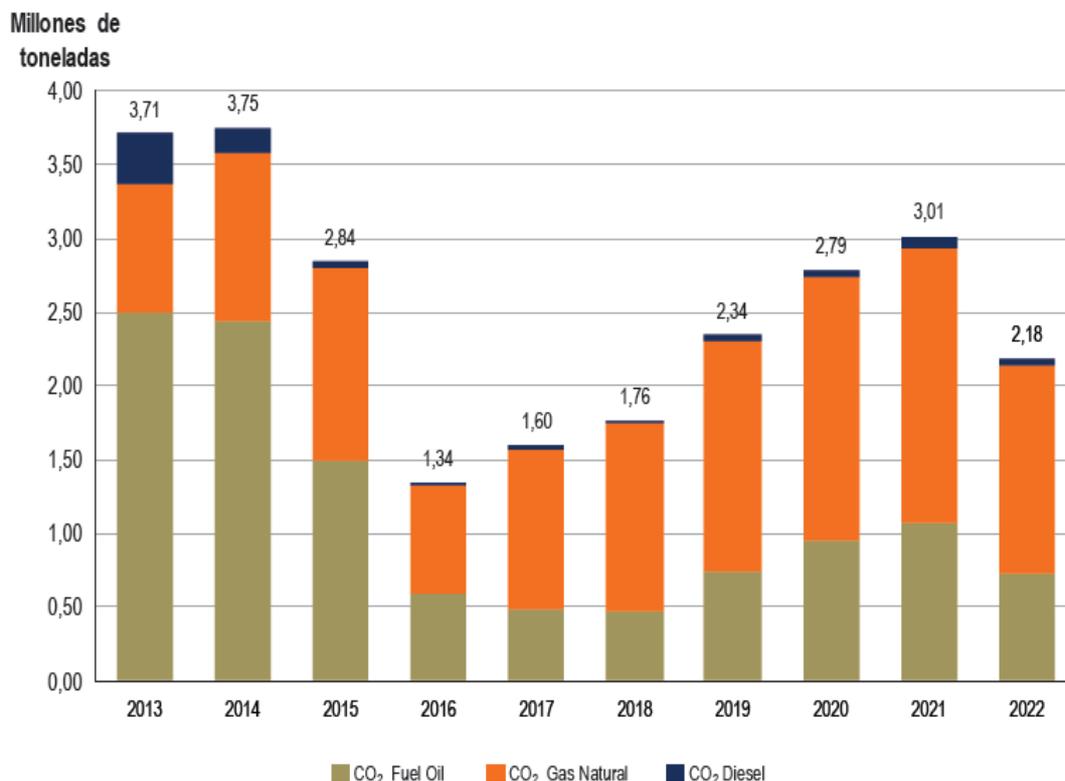


Figura 6. Emisiones de CO₂ por tipo de combustible, período 2013 - 2022
Fuente: (CONELEC, 2013, p. 47)

Los datos presentados en la Figura 6, indican que en el 2015 se emitirían a la atmósfera alrededor de 2,84 millones de toneladas de CO₂ generadas por la operación de centrales termoeléctricas, de las cuales 1,50 corresponden a Fuel Oil, 1,30 a gas natural y 0,05 a diesel. Estas emisiones se reducirían representativamente, de ejecutarse satisfactoriamente el PEG, y podrían alcanzar en el año 2016 un mínimo de 1,34 millones de toneladas de CO₂. Posteriormente, se incrementarían los niveles de emisión hasta 3,01 millones de toneladas de CO₂ en el 2021 (CONELEC, 2013, p. 47).

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

El detalle de los equipos que se utilizaron en la investigación se presentan en la Tabla 4, todos estos son de propiedad de CELEC E.P. Unidad de Negocios Termopichincha.

Tabla 4.

Detalle de los equipos utilizados durante la investigación

EQUIPO	MARCA	MODELO
– Motor de combustión interna serie 6700104, de 35 kW y 1 500 rpm,	Deutz	F5L912
Generador eléctrico, corriente AC, 43,75 kVA	Petbow	35ZA6V
– Fases: 3 fases	– Frecuencia: 60 Hz	(England)
– Factor de potencia: 0,8	– rpm: 1 800 rpm	
– Voltaje: 127/220	– Serie: 44902	
Equipo de medición de gases de escape	TESTO	350 XL
Equipo de medición de material particulado TREN ISOCINÉTICO	APEX	XC572

En la Tabla 5, se presentan los diferentes insumos utilizados en el proceso de generación termoeléctrica con las diferentes mezclas de combustible.

Tabla 5.

Detalle de los insumos utilizados durante la investigación

EQUIPO / INSUMO	UNIDAD	CANTIDAD
Diesel N°2	m ³	50
Biodiesel	m ³	6,5
Aceite lubricante (Ultradiesel CI-4 / SL SAE 15W40)	m ³	0,5
Filtros de combustible	c/u	6
Filtros de aceite lubricante SAE W40, BN 13	c/u	6
Resistencias eléctricas utilizadas como carga para el motor	c/u	15

2.2 ACONDICIONAMIENTO E INSTALACIÓN DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor de generación termoeléctrica utilizado en la investigación, Deutz, modelo F4L912 de 35 kW, fue sometido inicialmente a un proceso de rehabilitación y mantenimiento para conocer sus condiciones iniciales en la parte mecánica, durante lo cual se procedió a realizar un levantamiento fotográfico, que se consideró, como una línea base referencial, antes de iniciar con las pruebas de combustión.

La unidad Deutz fue trasladada, en mayo de 2013, desde la Central Puná, ubicada en la provincia de Guayas hasta la Central Quevedo II, ubicada en la provincia de Los Ríos. Esta unidad se encontraba fuera de servicio desde junio del año 2012.

El personal de mantenimiento de la Central Quevedo II, fue el encargado de aplicar el Procedimiento de Mantenimiento de esta unidad de acuerdo con lo establecido en el Manual de Instrucciones del motor Deutz 912/913 de cuatro tiempos.

2.2.1 OPERACIONES DE AJUSTE EN EL MOTOR

En este punto se realizó el ajuste de las siguientes tuercas y pernos del motor, ver Figura 7.

- Tuercas de culatas
- Tuercas de biela
- Tuercas de tapa de biela
- Pernos de los engranajes de la distribución
- Ajuste de la rueda de distribución



Figura 7. Ajuste de tuercas y pernos del motor

2.2.2 INSPECCIÓN DE LOS COJINETES

Durante esta inspección se verificó que los cojinetes y retenedores de aceite del cigüeñal, se encontraban deteriorados y se procedió con su cambio con se puede ver en las Figuras 8 y 9.

- Cambio de cojinetes de bancada STD.
- Cambio de cojinetes de levas STD.
- Cambio de retenedores de aceite del cigüeñal.



Figura 8. Inspección de los cojinetes del motor



Figura 9. Cojinetes nuevos listos para colocar en el motor

2.2.3 AJUSTE DE SOPORTES ANTIVIBRATORIOS

- Inspección visual de los elementos de goma.
- Ajuste entre el marco de la base y los soportes antivibratorios.

2.2.4 INSPECCIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE

Todos los elementos del sistema de inyección fueron revisados y cambiados por unos nuevos, según se puede observar en la Figura 10.

- Sustitución de todos los inyectores.
- Cambio de todas las cañerías de combustible.
- Cambio de filtro de combustible.



Figura 10. Elementos del sistema de inyección de combustible

2.2.4.1 Revisión y calibración de la bomba de inyección de combustible

En esta revisión se procedió al cambio de los elementos, detallados a continuación, y a la calibración de la bomba de inyección de combustible, como se puede observar en la Figura 11.

- Cambio de émbolos.
- Cambio de gasket y o-ring.
- Cambio de rodamientos.



Figura 11. Elementos de la bomba de inyección de combustible

2.2.4.2 Cambio de la bomba auxiliar de combustible

La bomba de inyección del combustible fue cambiada, como se puede apreciar en la Figura 12.



Figura 12. Bomba auxiliar de combustible

2.2.5 REACONDICIONAMIENTO DE LOS CABEZOTES

En este reacondicionamiento fueron cambiados los siguientes elementos, tal como se puede apreciar en las Figuras 13 y 14.

- Sustitución de las camisas.
- Inspección y armado de las culatas.
- Cambio de pistones y anillos.
- Cambio de asientos de válvulas de escape.
- Cambio de válvulas de admisión y escape.
- Cambio de guías y resortes.
- Cambio de balancines y taques.



Figura 13. Reacondicionamiento de los cabezotes del motor



Figura 14. Elementos del cabezote del motor

2.2.6 SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE DEL MOTOR

El sistema de aceite lubricante fue totalmente cambiado por elementos nuevos y se llenó el depósito de aceite lubricante con aceite nuevo, como se puede observar en la Figura 15.

En este caso se efectuaron las siguientes actividades:

- Sustitución de la bomba de aceite
- Cambio del filtro de aceite.
- Cambio de aceite ultradiesel CI-4 / SL SAE 15W40, se utilizaron 4 galones de aceite.



Figura 15. Elementos del sistema de aceite lubricante del motor

2.2.7 SISTEMA DE AIRE DE ADMISIÓN Y GASES DE ESCAPE

En el sistema de admisión y escape, que se muestra en la Figura 16, se efectuaron las siguientes actividades:

- Cambio del filtro de aire.
- Limpieza general del motor.



Figura 16. Sistema de admisión de aire y gases de escape

2.2.8 SISTEMA ELÉCTRICO DEL MOTOR

En el sistema eléctrico del motor, que se puede observar en la Figura 17, se procedió a realizar:

- Sustitución del alternador de carga.
- Revisión del motor de arranque.



Figura 17. Elementos del sistema eléctrico del motor

El mantenimiento del generador Deutz fue finalizado exitosamente, de acuerdo con las necesidades que fueron solicitadas para iniciar las pruebas de combustión.

Se tomaron los valores de presión de aceite y voltaje de línea con el motor en ralenti y a voltaje de generación de 220 V y se obtuvieron los siguientes valores:

Motor en ralenti: Presión aceite: 5,5 bar
 Voltaje: 21,9 V

Motor al generar: Presión aceite: 6 bar
 Voltaje: 220,4 V

2.3 PUESTA EN MARCHA DEL MOTOR

Una vez terminado el mantenimiento y acondicionamiento del motor de combustión interna se procedió a trasladar, en agosto de 2013, el motor Deutz, modelo F4L912 de 35 kW, desde la Central Quevedo II, ubicada en la provincia de Los Ríos, hasta la Central Guangopolo, ubicada en la provincia de Pichincha lugar donde se efectuaron las pruebas de combustión con las diferentes mezclas de combustible diesel y biodiesel.

2.3.1 SISTEMAS AUXILIARES PARA OPERAR EL MOTOR CON CARGA

Los sistemas auxiliares que fueron instalados para poner en marcha y operar el motor de combustión interna con carga fueron:

2.3.1.1 Sistema de transferencia de combustible

Para este sistema fue necesario instalar un tanque de servicio para el almacenamiento de combustible, que permitiera abastecer de forma continua al motor Deutz. En la Figura 18 se puede apreciar el tanque de 1 m³ que se instaló para facilitar este proceso.



Figura 18. Sistema de transferencia de combustible instalado (tanque de servicio para el almacenamiento de combustible)

2.3.1.2 Sistema de control del motor y del generador

Se instaló un sistema de control, el cual permitió monitorear y controlar las diferentes variables tanto del motor (velocidad, temperatura y presión) así como del generador (voltaje de salida, corriente de salida, voltaje de batería), tal como se puede ver en la Figura 19.

Este sistema tiene la característica de permitir el acceso a una comunicación en red, para transmitir todos los datos a cualquier lugar del mundo mediante una dirección IP.



Figura 19. Sistema de control del motor y del generador

2.3.1.3 Sistema de carga del motor

Para poder operar el motor de generación termoeléctrica fue necesario instalar un banco de resistencias eléctricas que permitió operarlo con carga, hasta alcanzar a una carga máxima durante su operación, de 21 kW, como se puede observar en la Figura 20.



Figura 20. Banco de resistencias eléctricas utilizado como carga del motor

2.3.2 PRUEBAS DE ARRANQUE DEL MOTOR CON CARGA

El arranque y parada del motor termoeléctrico, fueron efectuadas con combustible diesel N°2 para verificar el buen funcionamiento de todos sus sistemas auxiliares y dispositivos de control.

Estas pruebas de arranque y parada fueron llevadas a cabo durante dos días. En estas pruebas se debieron realizar ajustes del sensor de presión que no controlaba la presión del motor, así como también el cambio del selenoide de control del combustible que se quemó al arrancar el motor.

Adicional a esto, se realizó el aforo del tanque de combustible de motor, para efectuar mediciones de nivel del tanque de combustible y con esto obtener un valor bastante aproximado del consumo de combustible del motor. Los datos obtenidos en campo para el aforo de este tanque se presentan en el ANEXO I.

Las dimensiones del tanque de combustible del motor (tanque diario) fueron 1,42 x 0,67 x 0,18 m, (L x A x h) respectivamente, lo que representa un volumen de almacenamiento máximo de combustible de 45,2 gal.

2.4 PRUEBAS CON LAS DIFERENTES MEZCLAS DE DIESEL Y BIODIESEL

Superadas todas las dificultades durante el período de arranque y parada del motor se iniciaron las pruebas de combustión según el protocolo establecido y en coordinación continua entre las diferentes áreas que forman parte de la Subgerencia de Producción de energía termoeléctrica.

El motor Deutz estuvo en funcionamiento un total de 645 h, comprendidas entre el 26 de noviembre de 2013 y el 27 de enero de 2014, en operación continua las 24 h del día. Los datos de operación del motor fueron registrados por los operadores de cada turno, que corresponden a los

parámetros de control tanto del motor como del generador eléctrico. Un modelo del registro llenado por los operadores se presenta en el ANEXO II.

Al finalizar cada período de pruebas, definido por el cambio de combustible a utilizar, se realizó el cambio de los filtros de aceite y combustible, el cambio del aceite lubricante, con un desalojo de la totalidad del aceite del carter del motor y la carga de aceite nuevo.

Los inyectores del motor fueron monitoreados al finalizar cada período de pruebas, esto con la finalidad de verificar si el motor se encontraba en buenas condiciones o presentaba daños o acumulación de carbonizaciones que podrían ocasionar defectos en su operación.

El combustible utilizado en cada caso, fue trasferido desde la línea de las purificadoras de combustible de la central de generación termoeléctrica Guangopolo I, hasta el tanque de servicio de 1 m³, instalado exclusivamente para el abastecimiento de combustible al motor, mostrado en la Figura 18.

De tal manera que a continuación se detallan los períodos de las pruebas de combustión efectuadas con los diferentes combustibles:

- **Pruebas con D100 (diesel al 100%):** La ejecución de estas pruebas se desarrolló en un periodo comprendido entre el 26 de noviembre de 2013 y el 11 de diciembre de 2013, con un total de 69 h de operación del motor. Los datos se pueden observar en el ANEXO III.
- **Pruebas con B10 (mezcla 10% biodiesel / 90% diesel) v/v:** Estas pruebas fueron desarrolladas en el período comprendido entre el 12 de diciembre de 2013 y el 15 de diciembre de 2013, con un total de 82 h de operación del motor. Los datos registrados se presentan en el ANEXO IV.
- **Pruebas con B20 (mezcla 20% biodiesel / 80% diesel) v/v:** La ejecución de estas pruebas se desarrolló entre el 16 de diciembre de 2013 y el 26 de diciembre de 2013, con un total de 114 horas de operación del motor. En el ANEXO V se muestran los datos obtenidos.

- **Pruebas con B50 (mezcla 50% biodiesel / 50% diesel) v/v:** Estas pruebas fueron desarrolladas en el período comprendido entre el 06 de enero de 2014 y el 12 de enero de 2014, con un total de 140 horas de operación del motor. Los datos registrados se presentan en el ANEXO VI.
- **Pruebas con B100 (biodiesel al 100%):** La ejecución de estas pruebas se desarrolló entre el 15 de enero de 2014 y el 27 de enero de 2014, con un total de 240 horas de operación del motor. Los datos de pueden ver en el ANEXO VII.

2.5 ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LOS INSUMOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Se efectuó la toma de muestras, del aceite lubricante y del combustible del motor, para efectuar sus respectivos análisis físico químicos en el Laboratorio, la toma de muestras fue realizada en cada período de pruebas, es decir con los diferentes tipos de combustibles.

2.5.1.1 Toma de muestras de los combustibles y aceites lubricantes, para su control de calidad durante la operación del motor Deutz modelo F4L912

Durante las pruebas de generación termoeléctrica con los diferentes tipos de combustibles, se efectuó la toma de muestras de los combustibles y aceites lubricantes, para verificar que los parámetros físico químicos se encuentren dentro de los límites permisibles, establecidos por el fabricante del motor.

Los datos de los informes de resultados, fueron emitidos por el Laboratorio de Control Químico de la Central Guangopolo de CELEC E.P. Termopichincha.

2.6 MONITOREO DE EMISIONES A LA ATMÓSFERA Y MATERIAL PARTICULADO

Durante las pruebas de generación termoeléctrica con los diferentes tipos de combustibles probados, se efectuaron monitoreos de las emisiones a la atmósfera de los gases de combustión y material particulado, producidos durante la combustión..

Estas mediciones fueron realizadas mediante la utilización de los métodos de medición de emisiones gaseosas que se indican en la Tabla 6, y fueron efectuadas por el personal de la Unidad de Gestión Ambiental de la Unidad de Negocio Termopichincha de CELEC E.P. y también por un Laboratorio Acreditado ante el SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano). Los resultados obtenidos de las mediciones se pueden observar en el ANEXO IX.

Mediante los monitoreos de las emisiones de gases y material particulado a la atmósfera se puede declarar el cumplimiento o no cumplimiento de la normativa ambiental establecida en la Tabla 11, del Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA), Libro VI, Anexo 3A. "LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISIONES AL AIRE PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA NORMA PARA FUENTES EN OPERACIÓN ANTES DE ENERO DEL 2003" (Registro Oficial N°41, 2007, p. 25-26)

La Unidad de Gestión Social y Ambiental de CELEC EP TERMOPICHINCHA y un Laboratorio de Servicios Ambientales realizaron los monitoreos de las emisiones gaseosas de acuerdo con los lineamientos y metodologías establecidas en el TULSMA.

Tabla 6.

Métodos de medición de emisiones gaseosas

PARÁMETROS	MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA
Ubicación de puertos	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 1
Velocidad	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 2
Presión	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 2
Temperatura	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 2
Humedad	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 4
Oxígeno y Dióxido de carbono	Sensores electroquímicos
Partículas Totales	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 5
Dióxido de Azufre	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 6C
Óxidos de Nitrógeno	EPA, Parte 60, Apéndice A Método 7E

Fuente: (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2007)

2.7 PARADA Y REVISIÓN DEL MOTOR

Las pruebas de generación termoeléctrica con biodiesel culminaron el 27 de enero de 2014, su parada no fue programada con diesel, puesto que el interés de las pruebas radicó en verificar si existían daños en el motor al finalizar su operación con el biodiesel de origen vegetal, el cual no es un tipo de combustible recomendado por el fabricante de los motores Deutz.

Es así que completadas las pruebas del protocolo establecido, se procedió a la revisión e inspección de todos los elementos constitutivos del motor, que estuvieron en contacto con el nuevo combustible. Además, se realizó un levantamiento fotográfico de los elementos de mayor interés en estas pruebas correspondientes a las culatas, las camisas y los inyectores del motor.

El mantenimiento del motor y el desarme del mismo, para verificar los elementos indicados, fue efectuado por un técnico mecánico de la Central Guangopolo de CELEC E.P. Termopichincha y duró dos días.

2.7.1 REVISIÓN DE LAS CULATAS DEL MOTOR

Las culatas son las “tapas” de la cámara de combustión o los elementos de “cierre” de esta. Generalmente están construidas de hierro fundido y existen algunas variedades que dependen: de los criterios de construcción del fabricante, la potencia del motor y el tipo de combustible que se use en cada modelo del mismo.

2.7.2 REVISIÓN DE LAS CAMISAS DEL MOTOR

Las camisas son las paredes laterales de la cámara de combustión, normalmente están construidas de hierro fundido, y al igual que las culatas (o cabetozes) existen muchos tipos de fundición, que depende de las potencias y los combustibles que se vayan a usar; especialmente si se consideran combustibles vegetales o animales o emulsiones, deben ser resistentes a la corrosión y/o ataques de ácidos orgánicos.

Las camisas están en contacto básicamente con aceites lubricantes, combustibles, agua, vapores de azufre y con los componentes de los gases de la combustión que resulten de la combustión a alta presión.

2.7.3 REVISIÓN DE LOS INYECTORES DEL MOTOR

Los inyectores pulverizan el combustible en el interior de la cámara de combustión y determinan la formación de una neblina altamente inflamable, de tal manera que la combustión se realice en el menor tiempo posible (explosión) y de una manera homogénea.

Generalmente, los inyectores están contruidos de acero resistente a altas presiones y temperaturas. Los inyectores están en contacto con los combustibles y las impurezas que este contiene: azufre, vanadio, agua, entre otros.

Las puntas de los inyectores están sometidas a temperaturas de combustión, de hasta 550°C, las mismas que son refrigeradas por sistemas de enfriamiento que dependerán del diseño de cada motor.

2.8 ANÁLISIS DE LOS SELLOS DE CAUCHO DEL MOTOR

Al finalizar las pruebas se ejecutaron análisis de los sellos de caucho que estuvieron en contacto con el combustible en el motor.

El método de ensayo que se utilizó corresponde a una adaptación de la Norma NTE INEN 0890 (1984) " *Caucho. Determinación de la resistencia a los líquidos*". Esta norma permite evaluar la resistencia de cauchos vulcanizados a la acción de líquidos, mediante la medición de sus variaciones en las propiedades y dimensiones del caucho, después de haber sido sometidos a un líquido.

El método gravimétrico es el más preciso y recomendado en esta norma, cuando se requiere conocer la variación de volumen debida a la inmersión. Por esta razón, para aplicar este método, se elaboraron probetas de los cauchos para ser sometidas a la acción del líquido (que en este caso correspondía al biodiesel) por un tiempo de 15 días continuos a temperatura constante de 50°C, para luego determinar su variación gravimétrica en peso mas no en volumen.

Las probetas cortadas tuvieron los siguientes volúmenes: en el caso del sello de caucho de la corona de aceite 2,88 cm³ y para la probeta del sello de la bomba de inyección del combustible 1,41 cm³. De esta manera se cumple con lo especificado en la Norma NTE INEN 0890 sobre el volumen de las probetas de 1 a 3 cm³ (INEN, 1984, p. 5).

2.8.1 PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA VARIACIÓN GRAVIMÉTRICA EN LOS SELLOS DE CAUCHO:

- Utilizar tres probetas (por cada tipo de caucho).
- Pesarse cada una de las probetas en aire con aproximación de 1 mg para determinar (m_1).
- Colocar cada una de las probetas, en un recipiente que contenga un volumen de biodiesel, mínimo de 15 veces el volumen de la probeta a ensayar y tapar el recipiente. Las probetas deben quedar en suspensión para que todas las paredes de las probetas estén sometidas a la acción del biodiesel.
- Introducir los recipientes que contienen las probetas en la estufa, acondicionada previamente a una temperatura de 50°C, el tiempo que permanecieron las probetas de caucho en la estufa fue de 15 días.
- Al finalizar el período de inmersión, las probetas debieron ser llevadas a la temperatura de laboratorio normalizada, por medio de la transferencia de las probetas rápidamente a una porción fresca de biodiesel, dejándolas sumergidas entre 30 y 60 min.
- Luego retirar el líquido sobrante de la superficie de las probetas, con el uso de isopropanol (o cualquier líquido volátil apropiado). Para la limpieza se puede usar papel filtro o un paño que no desprenda pelusas.
- Pesarse la probeta y determinar la masa (m_3) en aire, con exactitud de 1 mg.
- Pesarse finalmente las probetas para determinar la masa (m_2), a la temperatura de laboratorio normalizada, en aire con exactitud de 1 mg.

La variación en peso de las probetas ensayadas, fue determinada mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ variación en peso} = \frac{(\text{Pesofinal} - \text{Pesoinicial})}{\text{Pesoinicial}} \times 100 \quad [2]$$

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RESULTADOS DE LA OPERACIÓN DEL MOTOR GENERADOR DEUTZ

De los registros diarios de operación del motor Deutz F4L912, se elaboró un resumen que se presentan en la Tabla 7. Un modelo de los registros de operación utilizados se puede observar en el ANEXO II.

Tabla 7.

Datos promedio de los parámetros controlados durante la generación eléctrica del motor Deutz F4L912

DATOS	MOTOR		GENERADOR		
	Combustible	Presión promedio (Bar)	Temperatura promedio (°C)	Voltaje promedio (V)	Corriente promedio (A)
D100	4,48	39,59	222,22	55,44	21,29
B10	3,82	42,38	221,50	60,79	21,00
B20	3,94	42,74	221,98	57,15	21,00
B50	4,03	42,16	221,07	55,26	20,74
B100	4,05	40,33	221,06	55,06	20,93

Los valores presentados en la Tabla 7 son los esperados ya que al considerar como parámetro fijo, la potencia del motor, con un valor de 21 kW, las condiciones del motor no se vieron afectadas, es así que los valores de presión y temperatura del motor al igual que el voltaje y corriente del generador comparados entre sí son bastante cercanos.

Por otro lado, el consumo de combustible del motor, fue calculado con los datos de aforo del tanque de combustible del motor y los datos de nivel del tanque diario, que corresponde al tanque de combustible del motor, en función de su tiempo de operación.

Los parámetros de operación del motor generador Deutz F4L912 presentados en la Tabla 7, fueron interpretados estadísticamente mediante el análisis de la varianza (ANOVA), con el uso del programa estadístico

Statgraphics, en el cual para todos los casos se consideró un nivel de confianza del 95% sobre la presión, temperatura, voltaje y corriente de la unidad generadora.

3.1.1.1 Análisis estadístico (ANOVA) efectuado para la presión del motor al utilizar los diferentes tipos de combustibles

Tabla 8.

ANOVA para la presión del motor por tipo de combustible

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Valor p
Entre grupos	3,86958	4	0,967396	0,0000
Intra grupos	17,6589	150	0,117726	
Total (Corr.)	21,5285	154		

El valor p, de la prueba F, que se indica en la Tabla 8, es menor que 0,05 esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre grupos, es decir entre la media de presión de un nivel de combustible con otro, al considerar un nivel de confianza del 95,0%.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

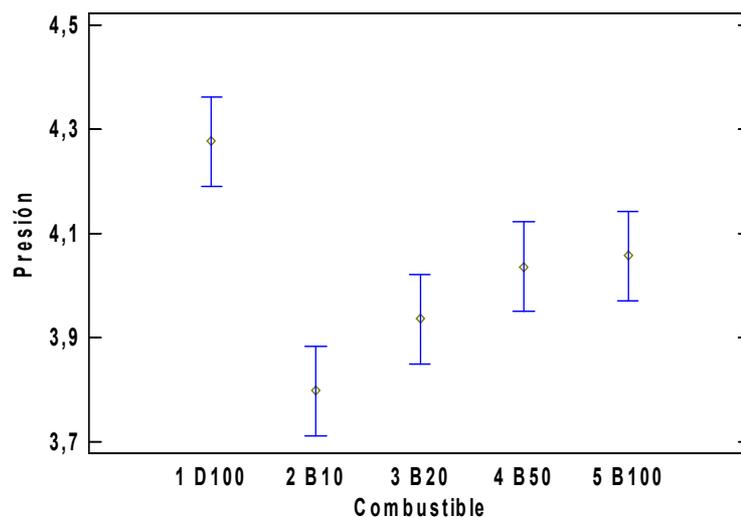


Figura 21. Diferencia significativa de la media de presión del motor, entre los diferentes tipos de combustibles

El gráfico presentado en la Figura 21, permite observar gráficamente, la falta de superposición de los rangos de las medias de presión para los diferentes tipos de combustible, la diferencia significativa entre la media de presión de un nivel de combustible con otro, es evidente.

Si se observa en la Figura 21, el rango de presión que tiene el motor al utilizar convencionalmente diesel es mayor que cuando se utilizan mezclas con biodiesel, se obtiene el rango de presiones más bajo con B10. Es decir que el motor se ve afectado, por una caída de presión en su operación al utilizar mezclas con biodiesel y se ve menos afectado al utilizar B100.

3.1.1.2 Análisis estadístico (ANOVA) efectuado para la temperatura del motor al utilizar los diferentes tipos de combustibles

Tabla 9.

ANOVA para la temperatura del motor por tipo de combustible

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor p
Entre grupos	421,381	4	105,345	0,0008
Intra grupos	3164,39	150	21,0959	
Total (Corr.)	3585,77	154		

El valor p, de la prueba F, es menor que 0,05, esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la temperatura media de un nivel de combustible con otro, al considerar un nivel del 95,0% de confianza, como se puede observar en la Tabla 9.

De la misma forma que en el análisis estadístico anterior, se efectuó un gráfico de las temperaturas medias obtenidas en los monitoreos de operación del motor versus los diferentes tipos de combustibles probados en el motor.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

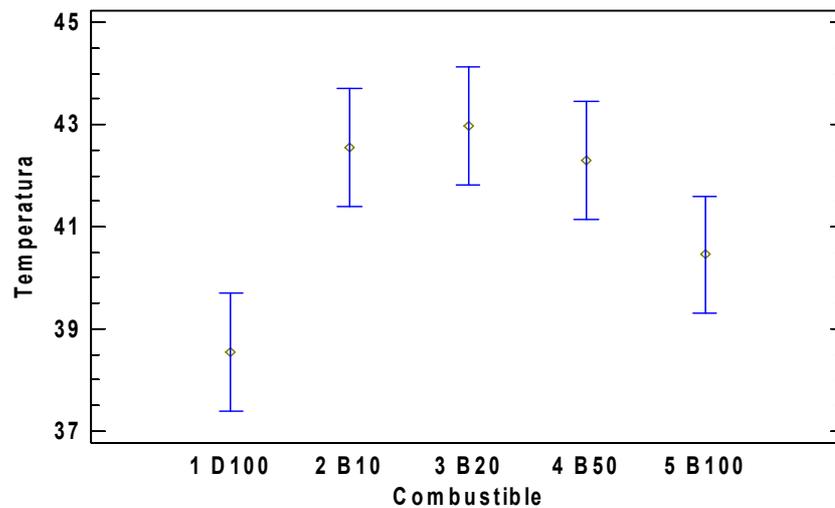


Figura 22. Diferencia significativa de la media de temperatura del motor, entre los diferentes tipos de combustibles

En la Figura 22, se puede observar la falta de superposición de los rangos de temperatura para los diferentes tipos de combustible, es decir que existe una diferencia significativa entre la media de temperatura de un nivel de combustible con otro.

El rango de temperaturas que normalmente experimenta el motor al utilizar diesel es menor que cuando utiliza mezclas con biodiesel. Es decir que el motor sufre, un incremento de temperatura en su operación al utilizar mezclas con biodiesel, pero se ve menos afectado al operar con B100.

3.1.1.3 Análisis estadístico (ANOVA) efectuado para el voltaje del generador al utilizar los diferentes tipos de combustibles

Tabla 10.

ANOVA para el voltaje del generador por tipo de combustible

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Valor p
Entre grupos	22,2323	4	5,55806	0,0000
Intra grupos	88,5161	150	0,590108	
Total (Corr.)	110,748	154		

El valor p, de la prueba F, presentado en la Tabla 10, es menor que 0,05, esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de voltaje de un nivel de combustible con otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

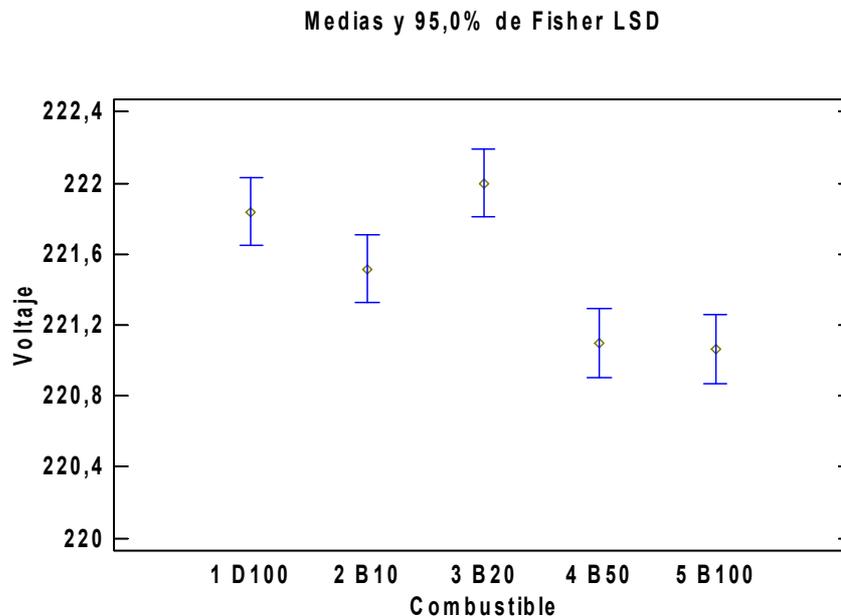


Figura 23. Diferencia significativa de la media del voltaje del generador, entre los diferentes tipos de combustibles

En la Figura 23 existe una falta de superposición de los rangos de las medias de voltaje para los diferentes tipos de combustible, la diferencia significativa entre la media de voltaje de un nivel de combustible con otro, existe marcadamente, especialmente entre diesel y biodiesel, lo que no sucede entre: B50 y B100 que casi llegan a superponerse los rangos.

Es decir que el generador que está acoplado al eje del motor, sufre una variación de voltaje cuando se utilizan mezclas con biodiesel y a medida que se incrementa la cantidad de biodiesel en la mezcla el voltaje disminuye, lo que representa una relación inversamente proporcional.

3.1.1.4 Análisis estadístico (ANOVA) efectuado para la corriente del generador al utilizar los diferentes tipos de combustibles

Tabla 11.

ANOVA para la corriente del generador por tipo de combustible

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor p
Entre grupos	737,226	4	184,306	0,0000
Intra grupos	1186,26	150	7,90839	
Total (Corr.)	1923,48	154		

En la Tabla 11, el valor p, de la prueba F, es menor que 0,05, esto indica que existe una diferencia estadísticamente significativa entre la media de la corriente de un nivel de combustible con otro, con un nivel del 95,0% de confianza.

Medias y 95,0% de Fisher LSD

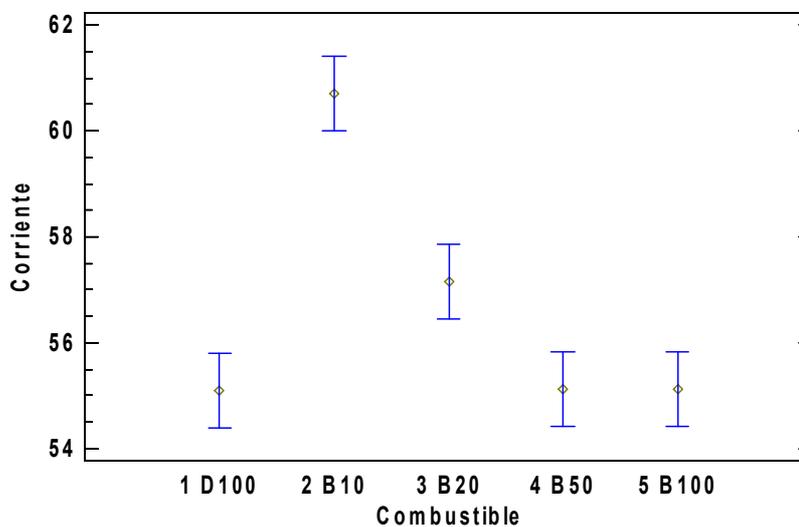


Figura 24. Diferencia de la media de la corriente del generador, entre los diferentes tipos de combustibles

El gráfico presentado en la Figura 24 permite determinar que debido a la falta de superposición de los rangos de las medias para los diferentes tipos de combustible, la diferencia significativa entre la media de corriente de un nivel de combustible con otro, existe.

3.2 RENDIMIENTOS ENERGÉTICOS DEL MOTOR

Los rendimientos energéticos y consumos específicos obtenidos para el motor Deutz F4L912, luego de operar a una potencia constante de 21 kW, con los diferentes tipos de combustibles se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12.

Rendimientos energéticos y consumos específicos, obtenido con los diferentes tipos de combustibles

Combustible	Potencia Generada (kW)	Tiempo de generación (h)	Energía (kWh)	Consumo Combustible (gal/h)	Volumen de combustible consumido (gal)	Rendimiento energético (kWh/gal)	Consumo Específico (gal/kWh)
D100	21	69	1 449	1,58	109,02	13,3	0,075
B10	21	82	1 722	1,69	138,58	12,4	0,080
B20	21	114	2 394	1,82	207,48	11,5	0,087
B50	21	140	2 940	1,82	254,8	11,5	0,087
B100	21	240	5 040	1,82	436,8	11,5	0,087

El consumo de combustible, para obtener una potencia de 21 kW, presentó un incremento proporcional con el aumento de la composición de biodiesel en la mezcla. Se reportan valores de consumo de 1,58 gal/h para D100, de 1,69 gal/h para B10 y luego se tiene un consumo de 1,82 gal/h a partir de la mezcla B20. Esto permite indicar que a partir de un porcentaje del 20% de biodiesel en la mezcla de combustible, el consumo de combustible para obtener una potencia de 21 kW se mantiene constante. El consumo de combustible incrementa generalmente cuando la cantidad de biodiesel incrementa en la mezcla de combustible (Dobrucali, Özcumali, & Ergin, 2008, p. 345)

La eficiencia del motor de combustión interna fue calculada en base a la siguiente fórmula.

$$\eta_{MOTOR} = 227,161 * \frac{P[kW]}{\rho \left[\frac{kg}{L} \right] * v \left[\frac{gal}{h} \right] * PCI \left[\frac{kcal}{kg} \right]} \quad [3]$$

Al realizar el cálculo de la eficiencia del motor, se obtuvieron los datos mostrados en la Tabla 13.

Tabla 13.

Rendimiento del motor Deutz F4L912 con los diferentes tipos de combustibles

Combustible	Consumo experimental (gal/h)	Densidad (kg/L)	PCS ¹ (kcal/kg)	PCI ² (kcal/kg)	Consumo calculado (gal/h)	η_{MOTOR} (%)
D100	1,58	0,8479	10 949	10 292	0,55	34,6%
B10	1,69	0,8510	10 802	10 154	0,55	32,7%
B20	1,82	0,8547	10 624	9 987	0,56	30,7%
B50	1,82	0,8548	10 611	9 974	0,56	30,7%
B100	1,82	0,8785	10 305	9 687	0,56	30,8%

Nota: 1: PCS = Poder calorífico superior, dato experimental obtenido en el Laboratorio
2: PCI = Poder calorífico inferior, dato calculado considerando un 6% menos del PCS, que representa la condensación del vapor de agua en el proceso de combustión (Kates & Luck, 1982, p. 183).

Para observar de manera mas representativa, lo que sucede con la eficiencia del motor en función de su operación con los diferentes tipos de combustible se construyó un gráfico de la eficiencia del motor vs los diferentes combustibles, como se puede observar en la Figura 25.

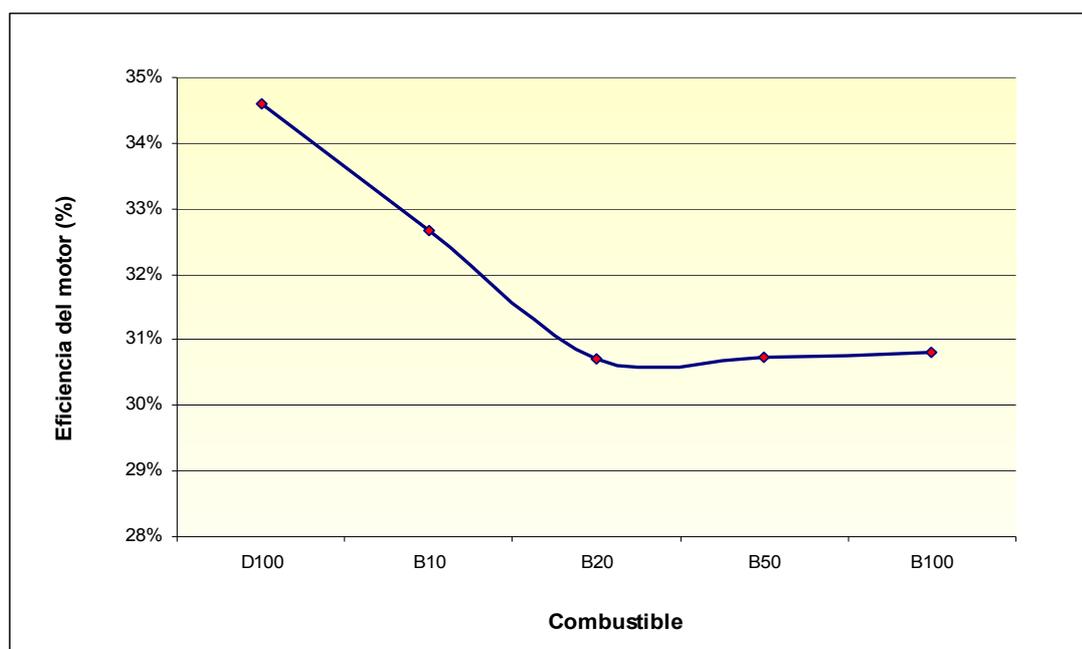


Figura 25. Eficiencia del motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible

Lo que se puede observar del gráfico presentado en la Figura 25, es que la eficiencia del motor disminuye a medida que el combustible contiene una mayor cantidad de biodiesel en su composición, y a partir del combustible B20 su eficiencia se mantiene aproximadamente constante.

La eficiencia del motor disminuye mientras se agrega biodiesel a la mezcla, se obtuvo 34,6% y 30,8% para D100 y B100, respectivamente, lo que significa una disminución del 3,8%, este aspecto está relacionado con el menor poder calorífico del biodiesel.

3.3 CÁLCULOS DE CONTAMINANTES A LA ATMÓSFERA

3.3.1 SIGNIFICANCIA DE LAS FUENTES FIJAS DE EMISIÓN

A fin de establecer si el motor en estudio corresponde a una fuentes fija significativa o no, se ha recurrido a la determinación de la potencia calorífica de entrada en función de la capacidad nominal de generación de energía eléctrica del grupo electrógeno.

Datos de Entrada:

- Potencia Nominal Eléctrica motor Deutz = 35 kW
- Rendimiento del Grupo Electrónico con diesel = 13,3 kWh/galón
- Poder Calorífico del Diesel = 10 292 kcal/kg
- Densidad del Diesel = 0,8479 kg/L
- Unidades de Conversión: 1 kcal = 3,96 BTU / 1 galón = 3,78 litros
- Cálculo de la Potencia Calorífica de Entrada

$$Potencia = 35kW \times \frac{1gal}{13,3kWh} \times 10292 \frac{kcal}{kg} \times 0,8479 \frac{kg}{L} \times 3,785 \frac{L}{gal} \times 3,96 \frac{BTU}{kcal}$$

$$Potencia = 3,44 \times 10^5 \frac{BTU}{h}$$

En la Tabla 14, se muestran los valores de potencia calorífica de entrada, calculada en forma similar para cada tipo de combustible.

Tabla 14.

Determinación de la significancia del motor Deutz F4L912 con los diferentes tipos de combustibles

Parámetros técnicos	Unidades	Combustible				
		D100	B10	B20	B50	B100
Rendimiento energético	(kWh/gal)	13,3	12,4	11,5	11,5	11,5
Densidad del combustible	kg/L	0,8479	0,8510	0,8547	0,8548	0,8785
Poder calorífico (PCI)	kcal/kg	10292	10154	9987	9974	9687
Potencia nominal del motor	kW	35				
Potencia calorífica	BTU/h	$3,44 \times 10^5$	$3,65 \times 10^5$	$3,88 \times 10^5$	$3,88 \times 10^5$	$3,87 \times 10^5$
Potencia calorífica según Norma	BTU/h	10×10^6				
Fuente significativa		NO	NO	NO	NO	NO

Con los valores de potencia calorífica se estableció si la fuente se consideran o no significativa y se definió que **la fuente no es significativa**, y por lo tanto no es objeto de monitoreo de emisiones al aire, ni de la aplicación de los límites máximos permisibles de emisión establecidos en la normativa ambiental (Ministerio del Ambiente del Ecuador, 2007, p. 378)

3.3.2 CONTAMINANTES EMITIDOS A LA ATMÓSFERA

Durante el proceso de combustión fueron medidos los contaminantes que se producen a la atmósfera como óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de azufre (SO_2), monóxido de carbono (CO) y anhídrido carbónico (CO_2).

Para este estudio y monitoreo de emisiones en la unidad de generación Deutz modelo F4L912, se utilizó el analizador de gases equipo Testo 350XL de última tecnología. Se verificó previamente el óptimo estado de las celdas electroquímicas, el nivel de voltaje y el estado de las sondas; de igual manera se procedió con el equipo medidor de material particulado.

Los valores promedio de los contaminantes emitidos por el motor Deutz durante las pruebas de combustión se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15.

Contaminantes a la atmósfera emitidos por el motor Deutz F4L912

Combustible	SO₂ (mg/Nm³)	NO_x (mg/Nm³)	Material particulado (mg/Nm³)
D 100	181	1 870	6,8
B10	133	1 976	6,7
B20	121	2 010	6,7
B50	99	2 077	6,7
B100	45	2 050	6,6

La metodología de monitoreo aplicada tuvo como base los criterios establecidos en el Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiente (TULSMA), correspondiente a los métodos y equipos de medición de emisiones para fuentes fijas de combustión, de tal manera que a continuación se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16.

Cumplimiento de la Norma TULSMA de los contaminantes a la atmósfera emitidos por el motor Deutz F4L912

PARÁMETROS	LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES TULSMA*	PROMEDIO OPERACIÓN CON					CUMPLE NORMA TULSMA
		MCI ANTES DE ENERO 2003					
		D100	B10	B20	B50	B100	
Partículas Totales (mg/Nm ³)	350	6,8	6,7	6,7	6,7	6,6	SI
Óxidos de Nitrógeno (mg/Nm ³)	2 300	1 870	1 976	2 010	2 077	2 050	SI
Dióxido de azufre (mg/Nm ³)	1 500	181	133	121	99	45	SI

Fuente: * (Registro Oficial N°41, 2007, p. 26)

En todos los casos los contaminantes emitidos a la atmósfera se encuentran por debajo de lo establecido en la normativa ambiental.

Para comparar las emisiones de contaminantes a la atmósfera generadas al utilizar los diferentes combustibles, se elaboraron gráficos de cada contaminante los cuales se presentan a continuación:

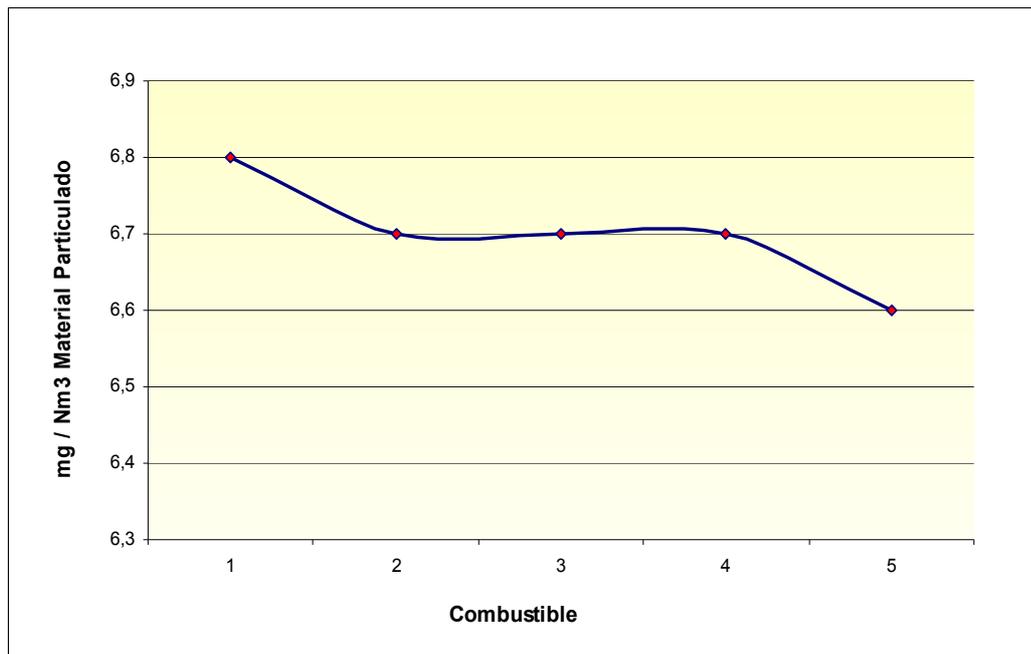


Figura 26. Material Particulado emitido a la atmósfera por el motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible

- Las emisiones de material particulado, presentadas en la Figura 26, se mantienen prácticamente similares al utilizar diesel o biodiesel, con valores aproximados a 7 mg/Nm³ en todos los casos.

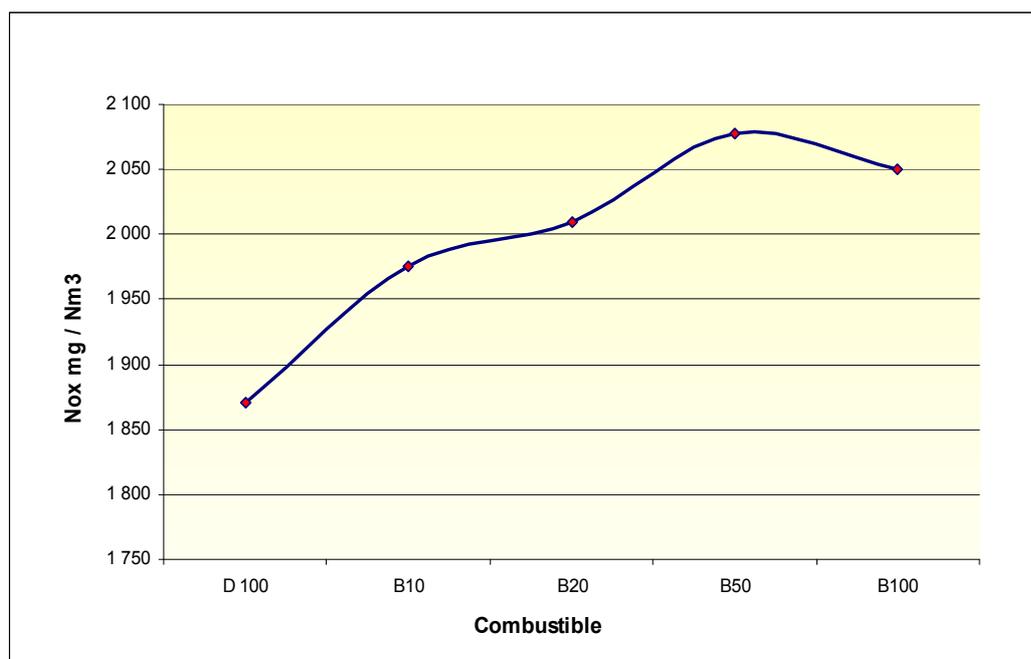


Figura 27. Óxidos de Nitrógeno emitidos a la atmósfera por el motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible

- Como se puede observar en la Figura 27, al utilizar B100 existe un aumento en las emisiones de NOx a $2\,050\text{ mg/Nm}^3$, lo que representa un incremento del 10% con respecto al diesel. La tendencia en este contaminante muestra que existe un incremento de NOx a medida que se incrementa el contenido de biodiesel en la mezcla. Por investigaciones realizadas anteriormente se conoce que la estructura molecular del combustible biodiesel influye significativamente en la formación de NOx. Esta influencia, parece ser ejercida por el efecto de la estructura molecular en el retardo de la autoignición que ocurre cuando el combustible se inyecta en la cámara de combustión, y también por la temperatura de la llama a la que las diversas moléculas son quemadas (Schönborn, Ladommatos, Williams, Allan, & Rogerson, 2009, p. 1396). Muchos investigadores han obtenido en sus resultados un incremento en las emisiones de NOx al utilizar biodiesel, su causa aún no está clara pero este incremento podría atribuirse a la influencia de la composición y propiedades del combustible (Varatharajan & Cheralathan, 2012, p. 3702). En gran medida las emisiones de NOx aumentan a medida que la longitud de la cadena (con excepción de C18: 0) y el grado de insaturación de los ésteres metílicos de ácidos grasos aumenta (Pinzi, Rounce, Herreros, Tsolakis, & Pilar Dorado, 2013, p. 170).

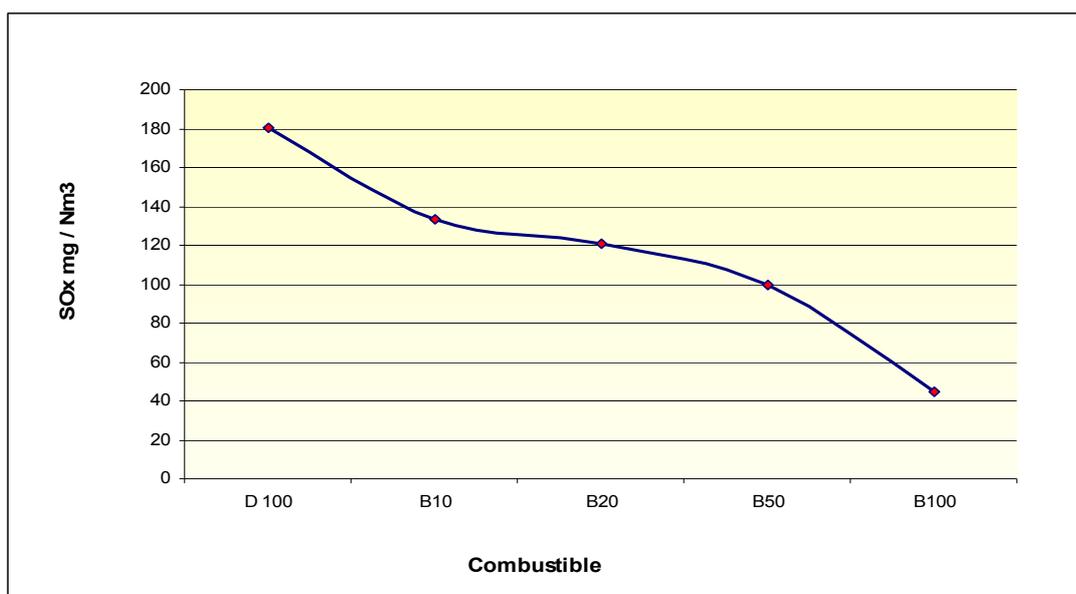


Figura 28. Óxidos de Azufre emitidos a la atmósfera por el motor Deutz F4L912 al operar con los diferentes combustible

- Por otro lado, en la Figura 28 se puede observar que las emisiones de SO_x, se redujeron a 45 (mg/Nm³) cuando se utiliza B100, lo que representa una disminución del 75% con respecto al diesel. La concentración de SO_x se reduce mientras la cantidad de biodiesel incrementa en la mezcla de combustible. En este punto se esperaba que las emisiones sean prácticamente cero pero posiblemente el valor muy bajo detectado, puede deberse a la determinación de los óxidos de azufre presentes en el aire atmosférico dentro de la Central Termoeléctrica Guangopolo.

3.4 ESTADO MECÁNICO DEL MOTOR AL FINALIZAR LAS PRUEBAS

El motor Deutz F4L912 no presentó daños en su infraestructura, su comportamiento y desempeño fue similar al que se tuvo en su operación con diesel.

Las culatas, camisas e inyectores del motor que fueron revisadas al finalizar las pruebas, por un técnico mecánico de gran experiencia, permiten concluir que no existieron daños en el motor, durante las 645 h de operación de este motor, con un combustible diferente al recomendado por el manual del fabricante.

3.4.1 ESTADO FINAL DE LAS CULATAS DEL MOTOR

Como se puede observar en la Figura 29, las fotografías de las culatas o cabezotes, tomadas durante el período de revisión y mantenimiento del motor, se muestran limpias es decir sin depósitos de carbón, y no se evidencian afectaciones por altas temperaturas. Esto significa que se generó una combustión limpia y sin residuos sólidos que se adhieran a las superficies y válvulas.



Figura 29. Fotografías de las culatas del motor Deutz F4L912 al terminar todas las pruebas con biodiesel

3.4.2 ESTADO FINAL DE LAS CAMISAS DEL MOTOR

En las fotografías, tomadas de estos elementos, mostradas en la Figura 30 se ven camisas un tanto corroídas, posiblemente debido a que el lubricante que se usó, cumple los criterios técnicos cuando se usa como combustible diesel, pero no es tan eficiente con combustibles de origen vegetal. Con respecto a un deterioro de estas partes no se observó nada anormal, su estado fue similar al obtenido después de operar con diesel.



Figura 30. Fotografías de las camisas del motor Deutz F4L912 al terminar todas las pruebas con biodiesel

3.4.3 ESTADO FINAL DE LOS INYECTORES DEL MOTOR

En las fotografías, tomadas de los inyectores, ver la Figura 31, se puede apreciar en las puntas, una ligera acumulación de carbonización, que de igual manera según el técnico responsable del mantenimiento es similar al que se tiene cuando el motor opera con diesel.



Figura 31. Fotografías de los inyectores del motor Deutz F4L912 al terminar todas las pruebas con biodiesel

3.5 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN LABORATORIO DE LOS COMBUSTIBLES Y ACEITES LUBRICANTES

3.5.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE COMBUSTIBLES EN EL LABORATORIO

Los análisis de las diferentes muestras de combustible que se utilizaron en el motor Deutz para el proceso de generación de energía, fueron efectuados por el Laboratorio de Control Químico de la Unidad de Negocios Termopichincha y el resumen de datos de los informes de resultados emitidos se presentan en la Tabla 17.

Tabla 17.

Datos obtenidos de los informes de resultados de los análisis de combustibles, emitidos por el Laboratorio de Control Químico de la Central Guangopolo de CELEC E.P. Termopichincha

Ensayo realizado	Unidad	Método	Tipo de combustible				
			D100	B10	B20	B50	B100
Azufre	% p/p	ASTM 06728-01	0,50	0,46	0,35	0,27	0,01
Carbono Residual Ramsbottom	% p/p	ASTM D524-04	0,11	0,10	0,05	0,01	0,01
Contenido de agua	ppm	ASTM D1533-12	100,72	111,41	246,35	300,18	586,92
Contenido de agua y sedimentos	% p/p	ASTM D4007-08	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,06
Color	Unidades de color ASTM	ASTM D1500-07	2,50	< 2,5	< 2,0	2,0	< 1,0
Densidad a 15°C	g/mL	PE1 Referencia: ASTM D4052-11	0,8479	0,8510	0,8547	0,8548	0,8785
Densidad relativa 60/60°F	---	PE1 Referencia: ASTM D4052-11	0,8484	---	---	---	---
Gravedad API	°API	PE1 Referencia: ASTM D4052-11	35,3	---	---	---	---
Poder calorífico	kcal/kg	ASTM D4809-06	10 949	10 802	10 624	10 611	10 305
Punto de inflamación	°C	ASTM D92-05a	70	60	80	80	180
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt	ASTM D445-06	2,93	3,05	3,22	3,22	4,31
Sodio	ppm	ASTM D6595-00	0,00	0,00	0,19	0,31	0,05
Potasio			0,03	0,11	0,04	0,09	0,01
Litio			0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Vanadio			0,92	0,88	0,75	1,08	0,00
Magnesio			0,00	0,04	0,02	0,03	0,07
Calcio			0,08	0,62	0,70	1,21	6,29
Plomo			0,81	0,00	1,38	1,58	0,44
Zinc			0,01	0,03	0,10	0,51	0,47
Silicio			0,60	0,17	0,78	1,12	0,34
Cromo			0,07	0,17	0,10	0,11	0,14
Níquel			0,09	0,02	0,14	0,26	0,00
Cobre			0,00	0,00	0,00	0,29	0,08
Aluminio			0,42	0,39	0,41	0,54	0,00
Hierro			0,04	0,24	0,00	0,48	0,23
Manganeso			0,81	0,50	0,52	1,00	0,00

Sobre la base de los resultados presentados en Tabla 17, se realizó una interpretación de datos mediante la elaboración de gráficos de los parámetros mas relevantes que permiten caracterizar los combustibles, los mismos que se muestran a continuación.

3.5.1.1 Resultado de los contenidos de azufre en los diferentes combustibles

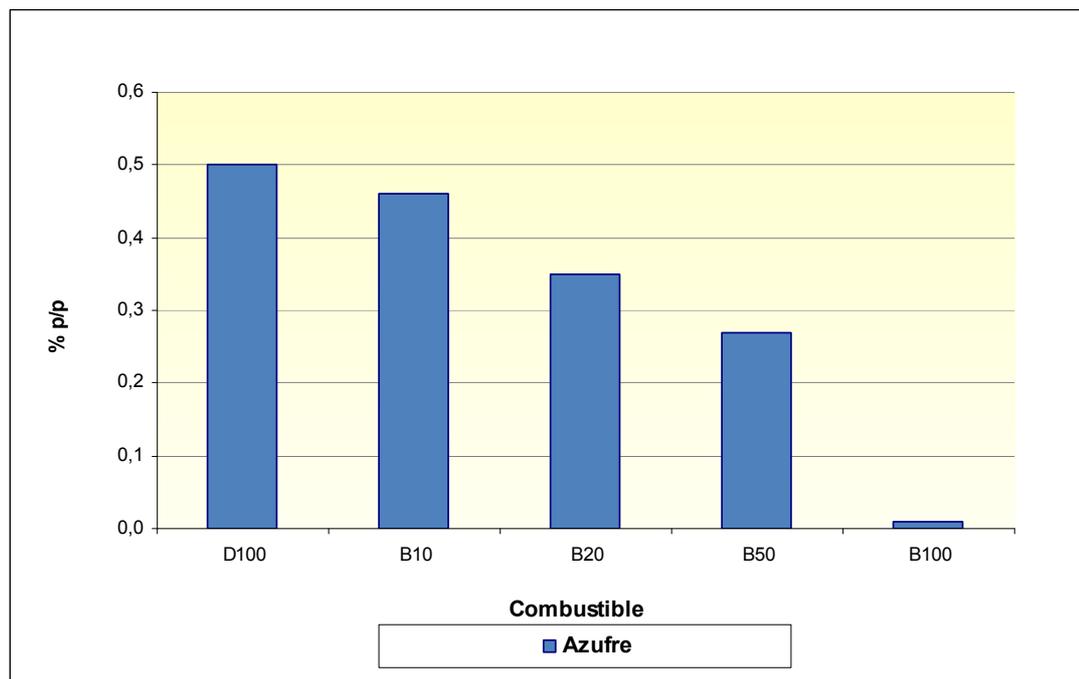


Figura 32. Contenido de azufre en los diferentes combustibles

Con los datos graficados en la Figura 32, se comprueba que en el B100, debido a su origen, no existe contenido de azufre en su composición, y que en el D100 el contenido de azufre del 0,5% p/p, se encuentra dentro del contenido máximo que establece la Norma Técnica Ecuatoriana, para el Diesel N°2, que corresponde a 0,7% p/p (INEN, 2012, p. 2).

La selección del aceite lubricante a utilizar depende en gran medida del contenido de azufre en el combustible, para evaluar los efectos del azufre se puede utilizar el análisis infrarrojo y la determinación de número básico (BN) para verificar las propiedades neutralizantes de residuos del aceite del motor. Si el contenido de azufre en el combustible es inferior a 0.5 % cualquier aceite API CI-4 o API CH-4 tendrá suficiente valor de BN (Narváez, 2007, p. 3), para cumplir con su objetivo de lubricación. De tal manera que el aceite lubricante seleccionado para operar con diesel podría asegurar de igual manera una buena funcionalidad al trabajar con B100.

En el caso de combustibles que no contienen azufre, como es el caso del biodiesel la interpretación directa es que no se van a producir óxidos de azufre en el proceso de combustión.

En el caso de los resultados de los óxidos de azufre, obtenidos en las mediciones de los gases de combustión al operar el motor con B100, fueron de 45 (mg/Nm³), lo cual posiblemente fue a causa de que el tanque de combustible del motor quedó contaminado con un remanente de diesel, lo que originó una concentración de óxidos de azufre muy baja en los gases de escape que se reflejaron al momento de efectuar la medición de los contaminantes atmosféricos.

3.5.1.2 Resultados de los contenidos de agua en los diferentes combustibles

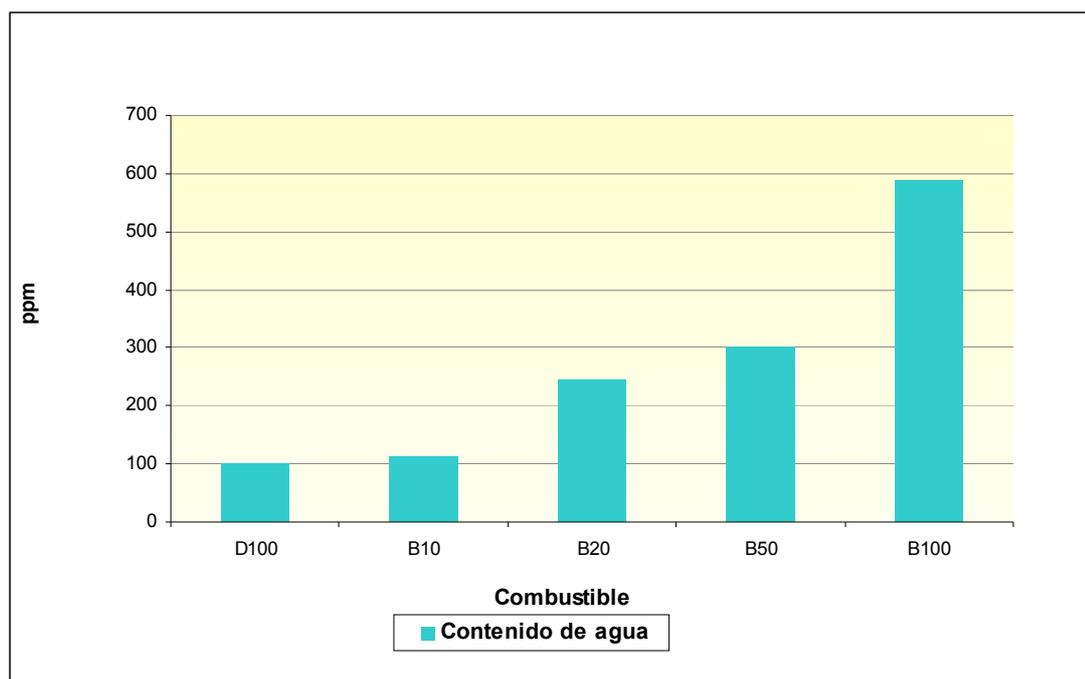


Figura 33. Contenido de agua en los diferentes combustibles

En la Figura 33, se puede apreciar que el combustible B100 tiene el contenido de agua mas alto, esto puede deberse a su característica altamente higroscópica, razón por la cual es necesario llevar un buen control sobre las condiciones de almacenamiento y transporte de este producto (Ganduglia et al., 2009, p. 63).

3.5.1.3 Resultados de los contenidos de vanadio y silicio en los diferentes combustibles

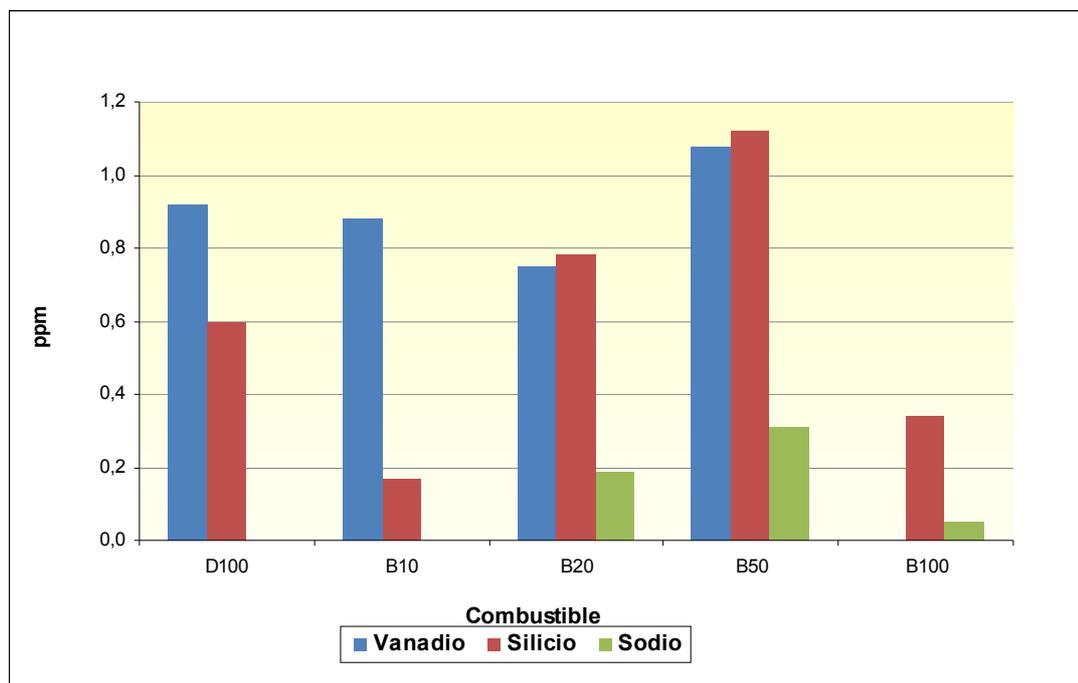


Figura 34. Contenido de vanadio y silicio en los diferentes combustibles

Como se puede observar en la Figura 34, el vanadio está presente en el combustible diesel D100, debido a que este elemento no se elimina en su totalidad en los procesos de refinación del crudo. Mientras que el biodiesel B100, debido a su composición química, que generalmente corresponde a un éster metílico con cadenas largas de ácidos grasos, no contiene vanadio.

El contenido de sílice, se presenta principalmente por contaminación del combustible con polvo o partículas presentes en el medio ambiente, por lo cual no depende directamente de la composición del combustible.

3.5.1.4 Resultados del poder calorífico superior en los diferentes combustibles

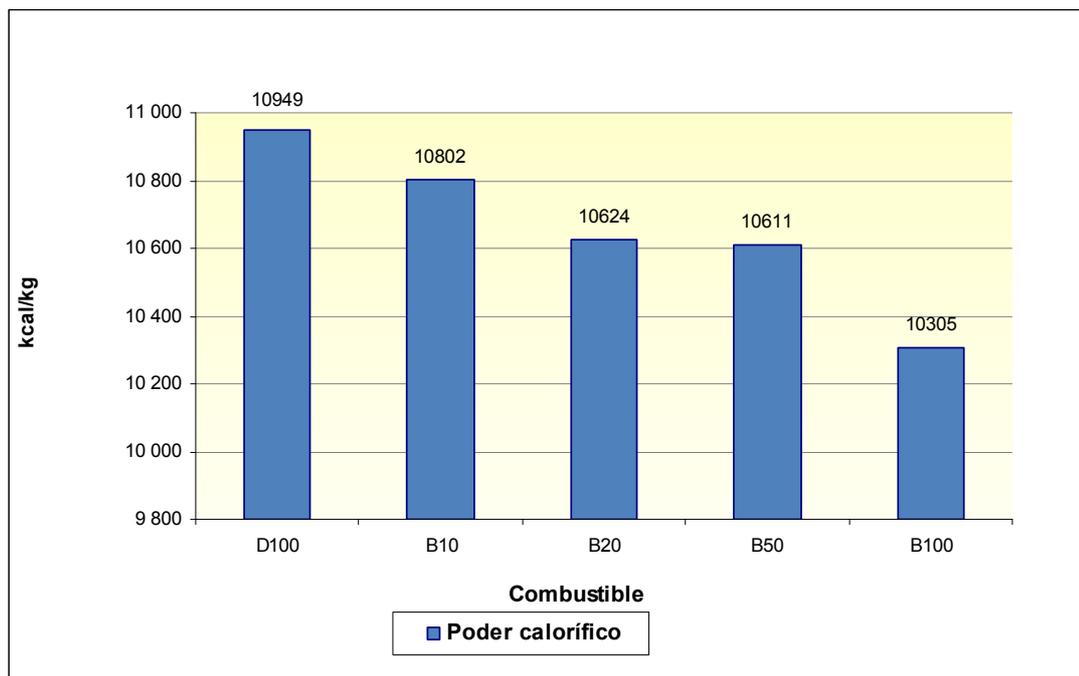


Figura 35. Poder calorífico superior de los diferentes combustibles

Con base en los resultados del poder calorífico en los combustibles se puede observar en la Figura 35, que el poder calorífico superior del B100 es aproximadamente un 6% más bajo que el del diesel, lo que representa que para obtener la potencia constante de 21 kW definida para este estudio, se obtuvieron consumos de combustible mayores cuando se operó el motor con mezclas que contenían biodiesel, pero a partir de una mezcla B20 el consumo se mantuvo constante manteniéndose la potencia.

3.5.2 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LOS ACEITES LUBRICANTES EN EL LABORATORIO

El aceite lubricante utilizado fue el ultradiesel SAE 15W40 API CI-4/SL, de marca PDV que corresponde al tipo de aceite recomendado por el fabricante del motor Deutz. Los resultados de los análisis de las muestras de aceites lubricantes, se presentan en el ANEXO VIII, y en la Tabla 18 se puede observar el promedio de esos resultados, en cada uno de los períodos de pruebas con los distintos combustibles.

Tabla 18.

Resultados promedio de los análisis físico químicos efectuados a los aceites lubricantes al operar con los diferentes combustibles en el motor

Ensayo realizado	Unidad	ACEITE LUBRICANTE					
		Nuevo	Operando con D100	Operando Con B10	Operando con B20	Operando con B50	Operando con B100
Color	Unidades de color ASTM	3,0	---	---	---	---	---
Contenido de agua	Cualitativo	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Densidad a 15°C	g/mL	0,8770	0,8773	0,8809	0,8808	0,8787	0,8878
Densidad relativa 60/60 °F	---	0,8775	0,8779	0,8814	0,8813	0,8792	0,8833
Índice de viscosidad	---	137	---	---	---	---	---
Insolubles en pentano	% p/p	---	0,19	0,27	0,25	0,22	0,14
Número de neutralización (BN)	mg KOH/g	18,18	10,99	11,73	10,90	11	12,29
Grados SAE	°SAE	40	---	---	---	---	---
Punto de Inflamación	°C	218	222	232	232	221	231
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt	113,07	115,04	141,67	159,54	120,90	156,69
Viscosidad cinemática a 100°C	cSt	14,97	16,46	17,47	19,51	16,12	19,40
Hierro	ppm	3,56	29,77	23,36	22,88	13,21	29,40
Cromo		0,06	5,74	5,00	5,09	2,62	3,35
Plomo		0,00	1,13	2,06	2,28	1,32	4,16
Cobre		0,04	4,52	4,93	5,32	2,91	6,31
Estaño		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio		2,49	9,49	10,75	11,24	7,09	10,06
Níquel		0,44	0,63	0,64	0,57	0,84	0,79
Plata		0,35	0,40	0,35	0,26	0,31	0,07
Silicio		4,29	8,79	7,44	6,87	5,57	6,50
Boro		0,81	1,10	1,06	0,55	0,38	0,37
Sodio		8,24	11,29	11,78	15,31	11,30	42,59
Magnesio		11,94	16,76	18,40	14,52	12,48	15,95
Calcio		2 491,00	2 698,00	3 035,00	3 246,00	2 821,00	3 232,00
Bario		0,04	0,27	0,21	0,50	0,48	0,15
Fósforo		1 165,00	1 120,00	999,52	1 131,00	1 198,00	1 222,50
Zinc		1 490,00	1 477,00	1 538,00	1 494,00	1 540,00	1 550,00
Molibdeno		5,34	5,21	5,24	1,88	2,27	1,53
Titanio		0,00	0,03	0,00	0,14	0,21	0,11
Vanadio		1,32	1,77	1,15	1,15	0,96	1,42
Manganeso		1,16	2,11	1,48	1,14	1,05	0,82
Cadmio		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80

Nota: *Trazas = contenido de agua < 0,05 % v/v

Con base en los resultados de la Tabla 18, se elaboraron gráficos de los parámetros físico químicos mas importantes de los aceites lubricantes, para observar de manera mas representativa el cambio del aceite lubricante nuevo al operar con los diferentes combustibles.

3.5.2.1 Resultados de la viscosidad en las muestras de aceite lubricante en uso, al operar con los diferentes combustibles

La viscosidad es la característica más importante de la lubricación, un aceite delgado tiene menor resistencia a fluir, razón por la cual su viscosidad es baja, mientras que un aceite grueso es más resistente a fluir por lo que tiene valores de viscosidad más altos. Las viscosidades de los aceites generalmente son determinadas en centistoke (cSt) a 40°C o 100°C (Widman, 2015, párr. 8).

- Cuando la viscosidad de un aceite es muy baja para una determinada aplicación, el desgaste es mayor por falta de protección hidrodinámica.
- Mientras que cuando la viscosidad de un aceite es muy alta para la aplicación deseada, aumenta el consumo de energía, y el desgaste puede ser mayor debido a la escasa circulación de aceite, de tal manera que el aceite se calentará por efectos de rozamiento.

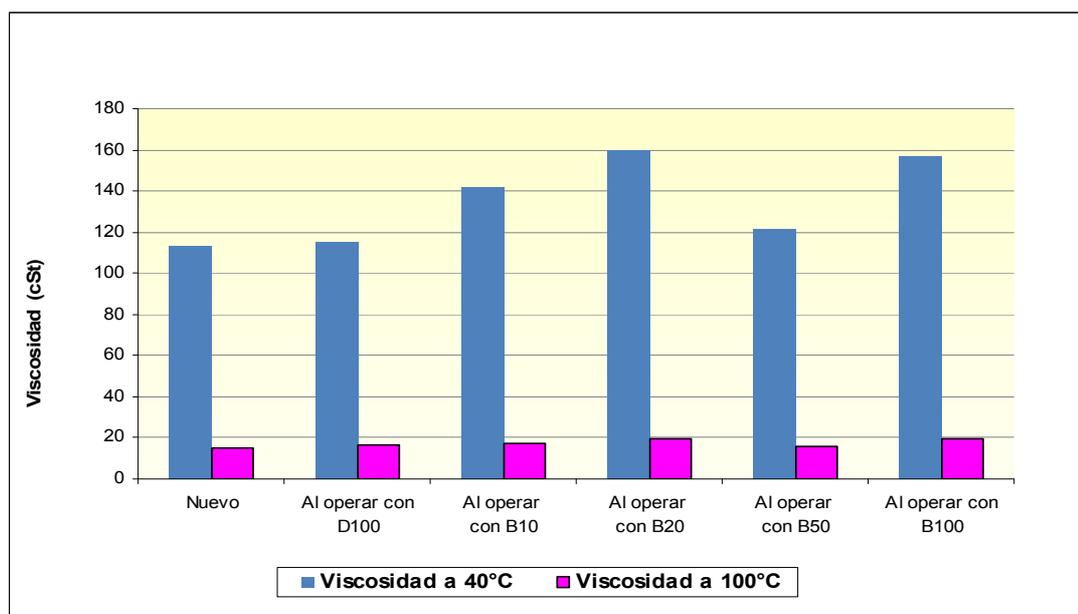


Figura 36. Viscosidad de los aceites lubricantes utilizados con los diferentes combustibles

En la Figura 36 se puede observar los cambios en la viscosidad, de los aceites lubricantes analizados a 40 y 100°C, cuando el motor operó con los diferentes combustibles.

En el caso de la viscosidad a 40°C del aceite lubricante utilizado durante las pruebas con D100 se tuvieron incrementos en su viscosidad en el orden del 1%. Mientras que cuando el motor operó con B100 los incrementos de la viscosidad fueron en el orden del 30%, en ambos casos el incremento fue respecto a la viscosidad del aceite lubricante nuevo. La viscosidad a 100°C también sufrió un incremento del 10% al operar el motor con diesel y del 30% al operar con biodiesel.

Esto representa un aspecto negativo en la operación de los motores con biodiesel, debido al desgaste que pueden sufrir los motores al utilizar un aceite lubricante con una alta resistencia a fluir, es decir que los cambios de aceite se tendrían que efectuar con mayor frecuencia, se considera que un aceite en servicio está degradado cuando su viscosidad aumenta en más o menos un 30%, o cuando disminuye alrededor de un 10% respecto a la viscosidad que posee cuando está nuevo (Peralta, 2012, p. 145).

3.5.2.2 Número de neutralización (BN) en las muestras de aceite lubricante en uso, al operar con los diferentes combustibles

El número de neutralización, denominado número básico (BN), es otro de los parámetros mas importantes en un aceite lubricante, puesto que representa su capacidad para neutralizar los ácidos que se producen durante su servicio. Mientras mas alto sea el número básico de un aceite, mayor será la cantidad de ácido que pueda neutralizar durante su servicio. Cuando el valor del número básico desciende por debajo del 50%, con respecto al valor del aceite nuevo, se considera que el lubricante ya no puede proteger al motor contra los efectos corrosivos de los ácidos, momento en el cual se debería programa su cambio (NORIA, 2014, párr. 1-2).

El número de neutralización (BN), que posea el aceite debe ser mayor en la medida en que el combustible contiene mayor porcentaje de azufre (motores diesel o petróleo). Es decir, a mayor contenido de azufre mayor será la reserva alcalina o BN exigida al lubricante para proteger el motor (Paez, 2014, párr. 3).

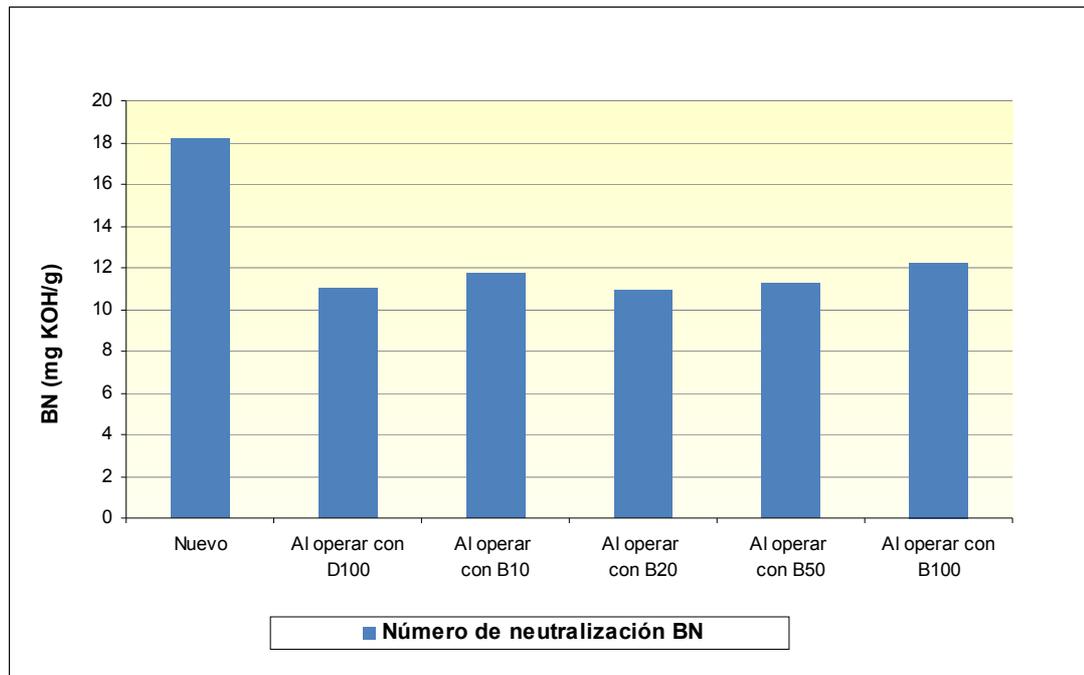


Figura 37. Número de neutralización (BN) de los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles

Durante el funcionamiento normal de cualquier motor diesel, el BN del aceite disminuye en la medida en que se neutralizan los ácidos. En la Figura 37, se puede observar la variación del BN respecto del aceite nuevo. El motor al operar con cualquiera de los combustibles tuvo un descenso en el BN, y es muy cercano en todos los casos comparado con el descenso que se tuvo cuando operó con diesel.

Esta situación puede ser considerada como un beneficio para la operación de los motores que operen con biodiesel, puesto que si la evaluación para efectuar los cambios de aceite se realizarán tan sólo con esta propiedad, los cambios de aceite se reducirían en gran medida, y permitiría disminuir los costos en la operación.

3.5.2.3 Contenido de metales en las muestras de aceite lubricante en uso, al operar con los diferentes combustibles

Los aceites lubricantes analizados en el laboratorio, corresponden a los aceites en uso que lubricaban el motor al operar con los distintos combustibles. Para efectuar un análisis mas representativo de los resultados obtenidos se elaboraron gráficos de cada tipo de paquete de metales.

- Los metales que generalmente forman parte del paquete de aditivos de un aceite lubricante son: calcio, fósforo, zinc, magnesio, bario y molibdeno.

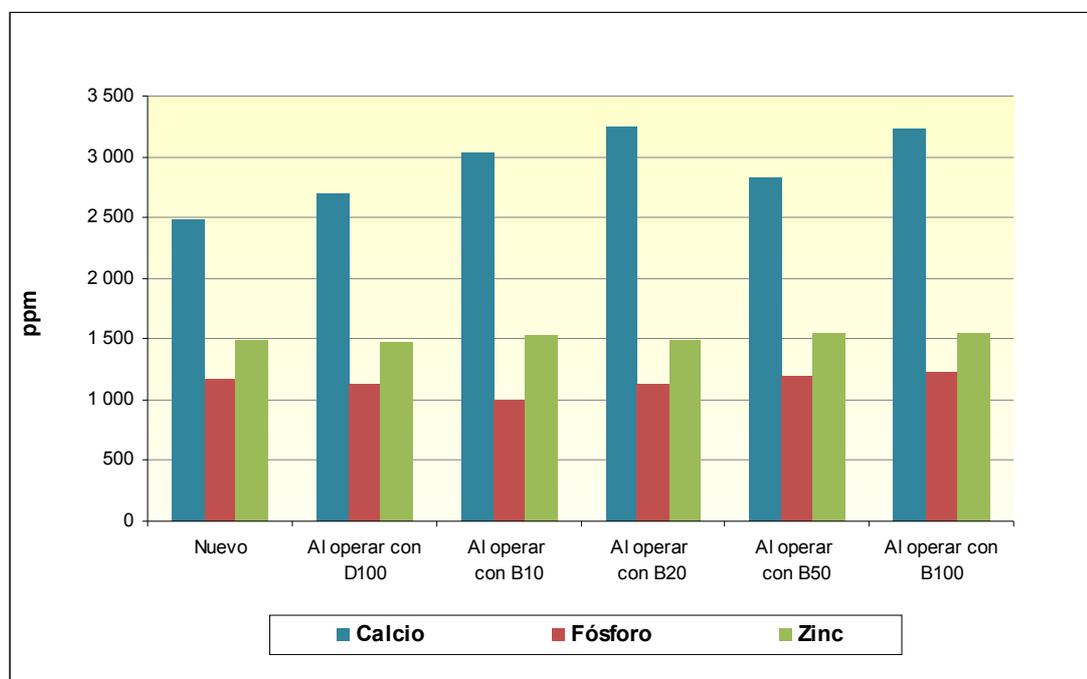


Figura 38. Metales Ca, P y Zn contenidos en el paquete de aditivos de los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles

Al tomar como referencia los cambios del aceite lubricante al operar con D100, se puede observar en la Figura 38, que los contenidos de metales al operar con mezclas de combustibles y con B100 son ligeramente mayores en su contenido de calcio, mientras que los contenidos de fósforo y zinc son muy cercanos a los que se tienen con diesel.

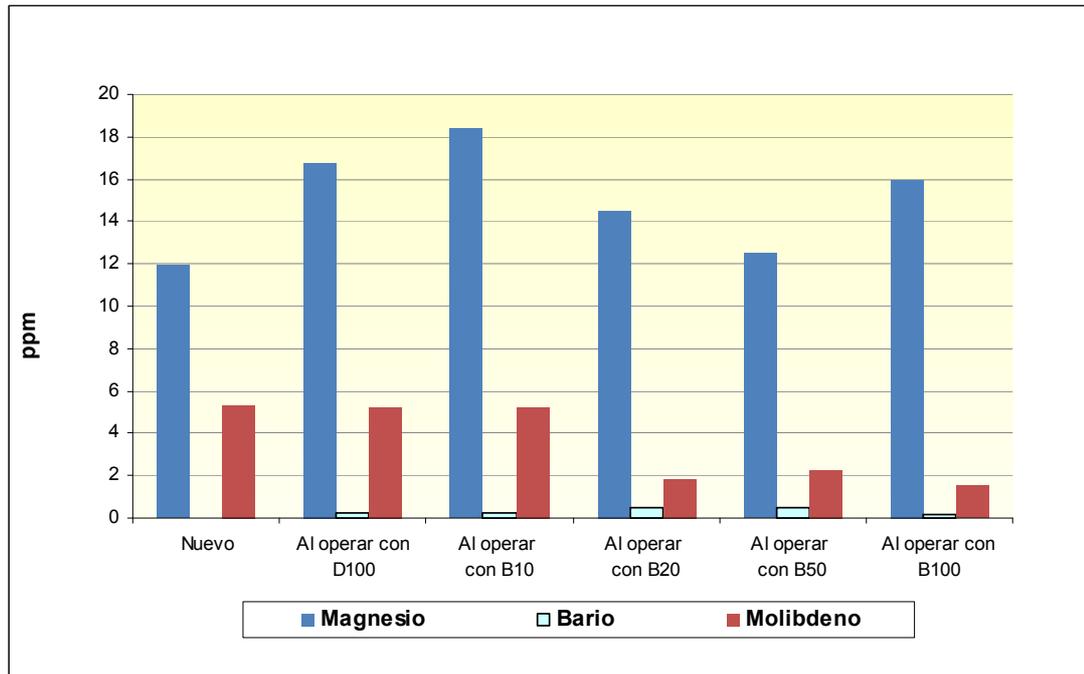


Figura 39. Metales Mg, Ba y Mo contenidos en el paquete de aditivos de los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles

De igual manera en la Figura 39 se tomó como referencia los cambios del aceite lubricante al operar con D100, y se pudo observar, que los contenidos de metales al operar con mezclas de combustibles y con B100 el molibdeno tuvo un menor contenido, lo que significa que hubo un mayor consumo de este aditivo durante su servicio con combustibles vegetales.

- Los metales producidos por el desgaste de las piezas lubricadas del motor generalmente corresponden a: hierro, cromo, níquel, plomo, aluminio, cobre, estaño y manganeso.

A continuación en la Figura 40, se puede observar el contenido de metales de desgaste provenientes de la metalurgia de las piezas del motor lubricadas.

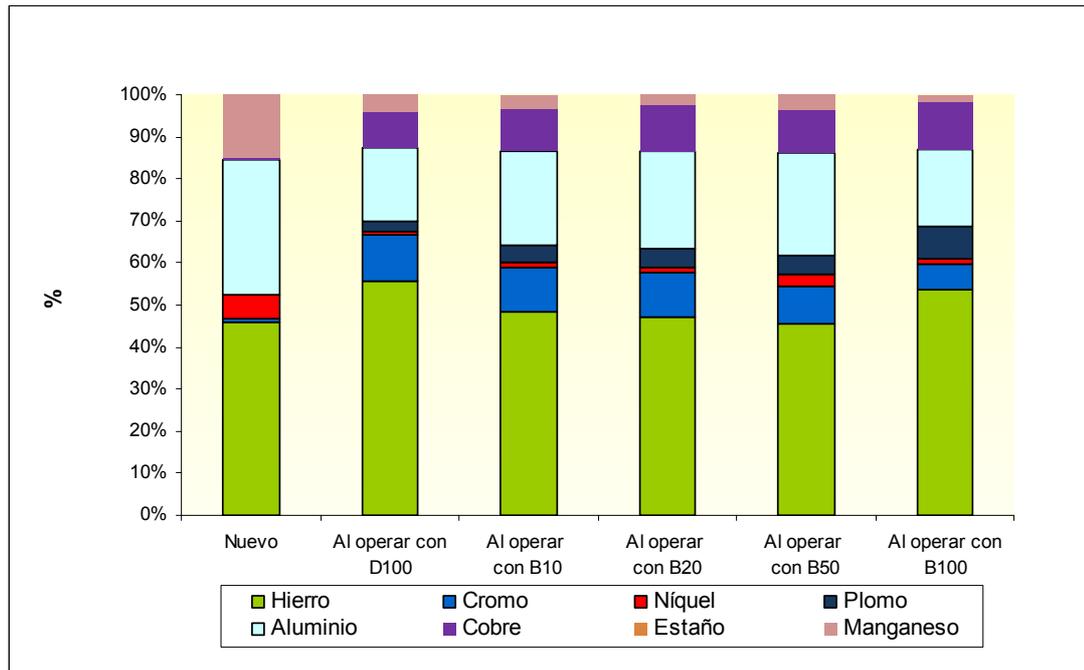


Figura 40. Metales de desgaste contenidos en los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles

El incumplimiento a una de las principales misiones del lubricante (reducir el rozamiento) se manifiesta por el desgaste de piezas y componentes del motor. Sin embargo no únicamente se puede atribuir al lubricante todo el papel de defensa del desgaste ya que otros factores van a afectar al mismo como son: la tecnología del conjunto y la de cada pieza considerada independientemente; la composición metalúrgica de estas últimas, el combustible usado, la calidad de la combustión, etc (Peralta, 2012, p. 160).

En la Figura 40, se puede observar que el desgaste de las piezas del motor son bastante similares al operar con D100 y con B100, mientras que al operar con mezclas, existe una disminución en el desgaste de las piezas que contienen hierro y un incremento en las piezas que contienen aluminio. Pero prácticamente la funcionalidad del aceite lubricante en todos los casos es bastante adecuada.

- Los metales que se constituyen como elementos contaminantes son: Silicio, Sodio, y Boro. Estos elementos provienen de la contaminación del aceite por polvo del medio ambiente principalmente.

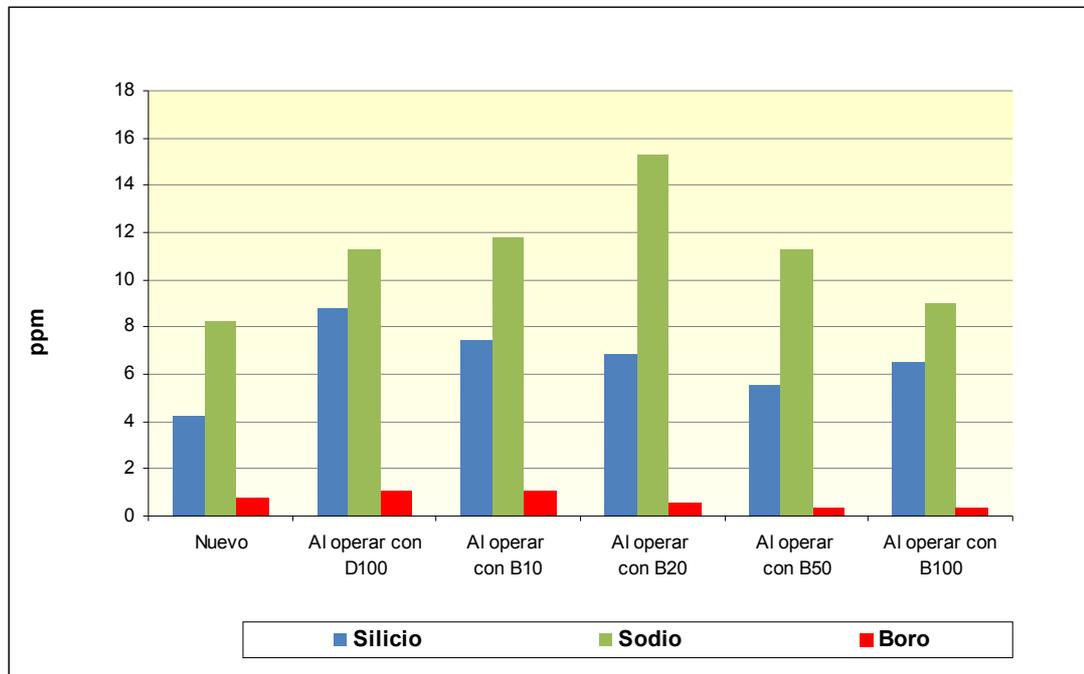


Figura 41. Metales provenientes de contaminación contenidos en los aceites lubricantes en uso al operar con los diferentes combustibles

En la Figura 41, se puede observar que el silicio y el boro contaminaron en menor medida los combustibles mezcla y B100 durante su operación, mientras que el sodio se mantuvo en similares condiciones. Estos contaminantes también van a depender mucho del sitio en el cual se ubique el motor y de la eficiencia en la filtración del combustible.

3.6 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LOS SELLOS DE CAUCHO

En la Tabla 19, se presentan los resultados obtenidos al someter los sellos de caucho de la bomba de inyección de combustible y el de la corona de aceite; a la acción de diesel y biodiesel, durante 15 días a una temperatura de 50°C.

Tabla 19.

Porcentaje de variación en peso del sello de caucho de la bomba de inyección de combustible al someterlo a la acción de diesel y biodiesel a una $T=50^{\circ}\text{C}$, durante 15 días

Líquido	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% variación
Diesel	2,6038	2,6041	0,01
	2,4789	2,4795	0,02
	2,5198	2,5206	0,03
Promedio			0,02
σ			0,01
Biodiesel	2,5393	2,5650	1,01
	2,5153	2,5410	1,02
	2,4964	2,5215	1,01
Promedio			1,01
σ			0,01

Como se puede observar en la Tabla 19, el porcentaje de variación en pesos del sello de caucho de la bomba de inyección de combustible, al someterlo a biodiesel es mayor que el que se da cuando se somete a diesel y correspondió a valores de 1,01% y 0,02% respectivamente.

Tabla 20.

Porcentaje de variación en peso del sello de caucho corona de aceite al someterlo a la acción de diesel y biodiesel a una $T=50^{\circ}\text{C}$, durante 15 días

Líquido	Peso inicial (g)	Peso final (g)	% variación
Diesel	3,7801	4,0571	7,33
	4,0025	4,2868	7,10
	3,5741	3,8458	7,60
Promedio			7,34
σ			0,25
Biodiesel	3,7243	4,1940	12,61
	3,8470	4,3309	12,58
	3,8350	4,3154	12,53
Promedio			12,57
σ			0,04

En el caso del sello de caucho de la corona de aceite, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 20, los cuales indican que el porcentaje de variación de pesos, al exponerlo a la acción de biodiesel es mayor que el que se da con diesel, siendo 12,57% y 7,34% respectivamente.

Estos resultados permiten indicar que los sellos de caucho que forman parte del motor de combustión interna, sufren un mayor deterioro al estar en contacto durante su operación con biodiesel, respecto a la que tienen en su operación con diesel.

En cuanto al desempeño del motor, los resultados de un deterioro mas rápido en los sellos de caucho constitutivos del motor, al operar con biodiesel, permiten determinar que los mantenimientos y cambios de repuestos serán mas frecuentes. Este aspecto negativo, se tendría que estudiar por un período mayor de tiempo para evaluar económicamente el encarecimiento en la operación de motores al utilizar biodiesel, con las pruebas de laboratorio se pudo determinar que las afectaciones a los sellos de caucho al estar en contacto con biodiesel serán mayores que con diesel.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El rendimiento energético, para un período de 645 h de operación en el motor de combustión interna marca Deutz modelo F4L912, disminuyó de 13,3 kWh/gal al operar con diesel, a 11,5 kWh/gal al operar con biodiesel, lo que corresponde a un descenso del 13,5%. La disminución está relacionada directamente con el menor poder calorífico que tiene el biodiesel que se encuentra un 6% más bajo, con relación al del diesel, lo que produjo como consecuencia que el consumo de combustible se incremente para mantener su potencia constante en 21 kW.
- En cuanto a las emisiones de material particulado, se determinó que se mantuvieron similares al operar el motor con diesel o biodiesel, los valores de este contaminante, que en los dos casos fueron de 7 mg/Nm³, están muy por debajo del límite máximo permisible definido en el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, que corresponde a 350 mg/Nm³.
- Las emisiones de NO_x incrementaron un 10% cuando el motor operó con biodiesel, el valor obtenido fue de 2 050 mg/Nm³, que se encuentran dentro del límite máximo permisible definido en el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente, que es de 2 300 mg/Nm³. La tendencia encontrada en la emisión de NO_x es que incrementan a medida que se utiliza mayor cantidad de biodiesel en la mezcla de combustible a quemar.
- En el caso de las emisiones de SO_x, se redujeron a 45 mg/Nm³, lo que representa una disminución del 75% con respecto a las emisiones producidas al utilizar diesel, y está muy por debajo de 1 500 mg/Nm³ que corresponde al valor establecido como máximo permisible en el Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente. La concentración de

SOx disminuye mientras se incrementa la cantidad de biodiesel en la mezcla de combustible. En este punto se esperaba que las emisiones sean prácticamente cero pero posiblemente el valor detectado, que es muy bajo, puede corresponder a la determinación de los óxidos de azufre presentes en el aire atmosférico, toda vez que el motor Deutz donde se efectuaron las pruebas de combustión, fue instalado en un complejo termoeléctrico que genera energía de manera continua y los gases de combustión pueden haber influenciado en este dato.

- Además con el excedente aproximado de aceite crudo de palma registrado en el año 2014, de 325 000 t, al efectuar un cálculo con una densidad promedio a 20 °C de 0,91 kg/L y considerando una conversión en el proceso de transesterificación del 95% p/p, se puede obtener alrededor de 89 639 555 gal de biodiesel lo que permitiría abastecer sin ningún problema el consumo de combustible para generación termoeléctrica en las Islas Galápagos, que como referencia en el año 2014 fue de alrededor de 3 141 155 gal. Como conclusión el uso del suelo no se vería afectado, puesto que solo se aprovecharía el excedente existente de aceite de palma africana, proveniente de los cultivos actuales, sin la necesidad de incrementar cultivos de oleaginosas para obtener el combustible de origen vegetal.
- Las pruebas de combustión realizadas con todas las mezclas probadas en este estudio con biodiesel, proveniente de aceite de palma africana, en el motor marca Deutz fueron exitosas. El motor operó un total de 650 h sin inconvenientes en el encendido y funcionamiento del mismo. Durante la verificación mecánica efectuada al motor Deutz, después de completar las 650 h de operación se pudo evidenciar que no existieron daños y que todas las partes presentaron condiciones similares a las que muestra el motor cuando opera con diesel de origen fósil.

4.2 RECOMENDACIONES

- Investigar cual sería el tiempo máximo en el cual se debe efectuar el cambio de los filtros de aceite y combustible al utilizar biocombustible en los motores de combustión interna, puesto que en esta investigación no se incluyó este aspecto por ser muy corto el tiempo de operación del motor con cada tipo de mezclas y combustibles probados.
- Analizar la aplicación de alguna de las mezclas entre B20 y B100 en los motores de generación eléctrica de las Islas Galápagos, ya que según las pruebas efectuadas es ese rango de mezclas de combustibles (diesel/biodiesel) o biodiesel al 100%, el rendimiento energético se mantiene constante para una potencia específica.
- Probar la resistencia de los sellos de caucho, con otro tipo de biodiesel que sea obtenido de un aceite diferente al de palma africana, para determinar acción sobre los sellos de caucho en función de la composición de los diferentes tipos de biodiesel.

5 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acosta, C. *Caña de azúcar propicia cambio de matriz energética del país*. Recuperado de: <http://www.telegrafo.com.ec/economia/item/cana-de-azucar-propicia-cambio-de-matriz-energetica-del-pais.html> (Septiembre, 2014)
- Asensio, D. (2011). Capítulo 1: Motor Térmico. En *Evolución del rendimiento de un motor de combustión interna*. Recuperado de: http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9682/4/03_Mem%C3%B2ria.pdf (Agosto, 2014)
- Beltrán, L., César, C., Villanueva, E., Pérez, A., Soria, M., Serrano, M., & Vargas, E. (2013). *Análisis y propuesta para la introducción de etanol anhidro en las gasolinas que comercializa PEMEX*. Recuperado de: <http://www.sener.gob.mx/res/Renovables/ANALISIS%20Y%20PROPUESTA%20ETANOL%20ANHIDRO%20EN%20LAS%20GASOL.pdf> (Noviembre, 2014)
- Bouille, D., Bravo, V., Héctor, P., & Nadal, G. (2008). Aporte de los Biocombustibles a la sustentabilidad del desarrollo en América Latina y el Caribe. *N.U. CEPAL*, (178), 22-23
- Cardeño, F., Ríos, L., & Franco, A. (2010). Producción de biodiesel de aceite crudo de palma mediante catálisis heterogénea. *Revista Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquia*, (51), 91-92. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302010000100009&lng=en&tlng=es (Junio, 2015)
- Caterpillar Inc. (2011). *Recommendations for the use of Biodiesel in Cat Nonroad Engines*, Recuperado de: <http://www.natbiogroup.com/docs/caterpillar%202010.pdf> (Agosto, 2014)
- CELEC E.P. (2015). *Informe de ejecución presupuestaria explotación 2014: Generación de energía Islas Galápagos* (pp. 21–24). Quito, Ecuador
- Chávez, G., Gallegos, R., & Tapia, M. (2010). *Proyecto de desarrollo de una refinería de biodiesel, por medio de la producción existente de palma africana, para su comercialización en la ciudad de Quito*. (Disertación Proyecto de titulación). Recuperado de la base de datos DSpace en ESPO. (Id.: 10445). <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10445> (Abril, 2015)
- CONELEC. (2013). *Perspectivas y Expansión del Sistema Eléctrico Ecuatoriano: Plan Maestro de electrificación 2013 - 2022*. Recuperado de: <https://www.celec.gob.ec/electroguayas/files/vol3.pdf> (Enero, 2015)

De Castro, M. (1987). *El motor diesel en el automovil* (1ra. ed.). Barcelona, España: GERSA.

Decreto Ejecutivo N°1303. Decreto Oficial de la República del Ecuador suscrito por el Presidente Rafael Correa Delgado (2012). Quito, Ecuador.

Decreto Ejecutivo N°1831. Decreto Oficial de la República del Ecuador suscrito por el Presidente Rafael Correa Delgado (2009). Quito, Ecuador.

Decreto Ejecutivo N°270. Decreto Oficial de la República del Ecuador suscrito por el Presidente Rafael Correa Delgado (2007). Quito, Ecuador.

Demirbaş, A. (2008). Biodegradability of Biodiesel and Petrodiesel Fuels. *Energy Sources*, 31(2), 169–170. doi: 10.1080/15567030701521809

Dobrucali, E., Özcumali, R. U., & Ergin, S. (2008). *The effect of biodiesel on exhaust emission characteristics of a diesel engine*. En Maritime Industry, Ocean Engineering and Coastal Resources - Proceedings of the 12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean, Istanbul, Turkey. Recuperado de: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84859943403&partnerID=tZOtx3y1> (Junio, 2015)

Dueñas, S. (2013). Emisión de Obligaciones a Corto Plazo – Papel Comercial ENERGY & PALMA. *Pacific Credit Rating*, 371(4), 9–10.

Editorial CEP. (2010). *Manual conductores mecánicos: formación para el empleo*. Madrid, España: CEP.

Escudero, S., González, J., Rivas, J. L., & Suárez, A. (2011). *Motores*. España: Macmillan.

Ganduglia, F., León, J., Gasparini, R., Rodríguez, M., Huarte, G., Estrada, J., & Filgueiras, E. (2009). *Manual de biocombustibles*. Recuperado de: http://www.iica.int/Esp/regiones/sur/argentina/Documents/2012/Publicaciones/Manual_Biocombustibles_ARPEL_IICA.pdf (septiembre, 2014)

García, J., & García, J. (2006). *Biocarburantes líquidos: biodiésel y bioetanol* (4ta. ed.). Madrid, España: Elecé Industria Gráfica.

García, R. (2010). *Vision prospectiva de los biocombustibles en Guatemala*. Recuperado de: http://ceur.usac.edu.gt/Biocombustibles/56_15%20Panel%20IV%20Perspectiva%20Ambiental.pdf (Diciembre, 2014)

- Gil, A. (2007). *Temas avanzados en motores de combustión interna: Modelado tridimensional del flujo de aire en el cilindro de motores diesel de inyección directa*. España: Reverté.
- Gilardi, J. (1985). *Motores de combustión interna* (2da. ed.). San José, Costa Rica: IICA. Recuperado de: http://books.google.com/books?hl=es&lr=&idixJcytNa_90C&pgis=1 (Junio, 2014)
- González, F. (2012). Propuesta estratégica de marketing para la extractora de aceite rojo de palma africana PALMEX S.A. en la provincia de Santo Domingo de los Tsachilas. Recuperado de la base de datos DSpace en ESPE. (T-ESPE-034977.pdf). <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6409>
- Heess, G. (2011). *Hoja de seguridad aceite de palma crudo*. Recuperado de: http://gustavheess.com/pdf_esp/1101seg.pdf (Marzo, 2015)
- Hofmann, M., Quintero, R., Gruber, G., Portilla, A., Heinemann, E., Hetzel, M., ... Seidler, G. (2008). *Energía Renovable para Galápagos: Sustitución de combustibles fósiles por biocombustibles en la generación de energía eléctrica en la Isla Floreana*. Recuperado de: http://www.ergal.org/imagesFTP/7734.Estudio_de_Factibilidad_para_el_Uso_de_Biocombustibles.pdf (Septiembre, 2014)
- INEN. (1984). Norma técnica ecuatoriana 890: Caucho. Determinación de la resistencia a los líquidos, Pub. L. No. Registro Oficial N° 736 de 1984-05-03 (1984). Ecuador.
- INEN. (2012). Norma técnica ecuatoriana 1489: Productos derivados del petróleo. Diesel. Requisitos, Pub. L. No. Registro Oficial N° 684 de 2012-04-17 (2012). Ecuador.
- INEN. (2013). Enmienda a Norma técnica ecuatoriana 2482: Biodiesel. Requerimientos (2013). Ecuador.
- Instituto de Promoción de exportaciones e Inversiones. (2014). Análisis Sectorial: Aceite de Palma y Elaborados 2014. Recuperado de: http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2015/05/PROEC_AS_2015_ACEITEPALMA.pdf (Mayo, 2015)
- Kates, E. J., & Luck, W. E. (1982). *Motores diesel y de gas de alta compresión*. Recuperado de: <http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=UjtKi-fjkrYC&pgis=1> (Mayo, 2014)
- López, G. D. (2008). *Biodiesel: Perfiles de negocio*, Recuperado de: <http://galeon.com/subproductospalma/bio3.pdf> (Julio, 2014)
- Marticorena, A. A. (2010). Análisis del Impacto Ambiental de la Recuperación de Metanol en la Producción de Biodiesel usando el Algoritmo de

Reducción de Desechos WAR. *Información tecnológica*, 21(1), 27. doi: 10.1612/inf.tecnol.4143it.08

- Mayr, F. (1953). *Motores de combustión interna: Motores diesel fijos y Marinos*. (1ra. ed.). Barcelona, España: Mariano Galve
- MEER. (2012). *Matrices de rendición de cuentas 2012*. Recuperado de: <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/MATRICES-DE-RENDICI%C3%93N-DE-CUENTAS-FUNCI%C3%93N-EJECUTI-VA-MARZO-2014.pdf> (Febrero, 2015)
- Mideros, A. (2013). *Diseño de un laboratorio de análisis de aceites lubricantes en la ESPOL para sustentar programas de mantenimiento predictivo*. (Disertación Proyecto de titulación). Recuperado de la base de datos DSpace en ESPOL. (Id.: 58572839). <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/25398> (Enero, 2015)
- Ministerio de Energía. (2007). *Ecuador - Cero combustibles fósiles en Galápagos*. Recuperado de: <http://www.oilwatchesudamerica.org/petroleo-en-sudamerica/ecuador/1033-ecuador-ncero-combustibles-fosilesenngalagos.html> (Enero, 2015)
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2007). Libro VI - Anexo 3. En *TULSMA*. Quito, Ecuador.
- Montenegro, M. (2011). *Gas Natural Comprimido Vehicular GNCV: Funcionamiento del motor de combustión interna*. Bogotá, Colombia: SENA. Recuperado de: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/ciencias/sena/mecanica/gas-preconversion-vehiculos/gaspre5a.htm> (Junio, 2015)
- Mora, J. (2007). *Estudio del comportamiento de los aditivos para lubricantes y combustibles*. (Disertación Proyecto de titulación). Recuperado de la base de datos DSpace en ESPE. (T-ESPEL-0227.pdf). <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4187/1/T-ESPEL-0227.pdf> (Abril, 2015)
- Muñoz, J. P. (2014). *Perspectiva de las energías renovables en el Ecuador*. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/jorgemunozv/matriz-energetica-ecuatoriana-v2-24655349> (Enero, 2015)
- Muñoz, M., & Rovira, A. (2014). *Máquinas térmicas*. Madrid, España: UNED.
- Narváez, H. (2007). *Como reducir las fallas del motor relacionadas con el aceite lubricante*. Recuperado de: http://www.arbeltrading.com/docs/Boletin_tecnico_27_azufre_TBN.pdf (Junio, 2015)

- NORIA. (2014). *Conozca el número básico (BN) correcto de su lubricante*. Recuperado de: <http://noria.mx/lublearn/conozca-el-numero-basico-bn-correcto-de-su-lubricante> (Marzo, 2015)
- Paez, F. (2014). *Que es el TBN y que indica en el análisis de aceite*. Recuperado de: http://www.lube-tips.com/sp/q&a/2008_11_21.html (Abril, 2015)
- Peralta, R. (2012). *Principios y fundamentos de ingeniería de mantenimiento: Diagnóstico mediante el análisis de lubricantes* (1ra. ed.). La Paz, Bolivia: Beltrán, Carlos. Recuperado de: <https://es.scribd.com/doc/99269568/ANA-LISIS-DE-LUBRICANTES> (Mayo, 2014)
- Pérez-Rodríguez, P., de Blas, E., Soto, B., Pontevedra-Pombal, X., & López-Periago, J. E. (2011). El conflicto de uso del suelo y la calidad de los alimentos The soil use conflict and food quality. *CyTA - Journal of Food*, 9(4), 342–343. doi: 10.1080/19476337.2011.615944
- Peterson, C., & Reece, D. (1994). *Toxicology, biodegradability and environmental benefits of biodiesel*. Recuperado de: http://biodiesel.org/reports/19940101_mar-002.pdf (Noviembre, 2014).
- Pinzi, S., Rounce, P., Herreros, J. M., Tsolakis, A., & Pilar Dorado, M. (2013). The effect of biodiesel fatty acid composition on combustion and diesel engine exhaust emissions. *Fuel*, 104, 170-171. doi: 10.1016/j.fuel.2012.08.056.
- Registro Oficial N°41. (2007). Normas Técnicas Ambientales para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental para los Sectores de Infraestructura: Eléctrico, Telecomunicaciones y Transporte (Puertos y Aeropuertos) (2007). Quito, Ecuador: Tribunal Constitucional.
- Regulación N° CONELEC - 001/13. Regulación del Consejo Nacional de Electricidad para: “La participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales” (2014). Quito, Ecuador.
- SAGARPA, SENER, SE, SEMARNAT, & SHCP. (2010). *Estrategia Intersecretarial de los Bioenergéticos*. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Estrategiabioenergéticos.pdf>(Octubre, 2014)
- Schönborn, A., Ladommatos, N., Williams, J., Allan, R., & Rogerson, J. (2009). The influence of molecular structure of fatty acid monoalkyl esters on diesel combustion. *Combustion and Flame*, 156(7), 1396–1397. doi: 10.1016/j.combustflame.2009.03.011
- Silva, M., Bermann, C., Fearnside, P. M., Millikan, B., Baitelo, R., Rey, O., ... Kishinami, R. (2012). *O setor elétrico brasileiro e a sustentabilidade no*

século 21: Oportunidades e Desafios. Brasilia, Brasil: Franco, Paula. Recuperado de: http://www.internationalrivers.org/files/attached-files/o_setor_eletrico_brasileiro_e_a_sustentabilidade_no_sec_21-oportunidades_e_desafios_-pdf_leve.pdf (Junio, 2015)

Tormos, B. (2005). *Diagnóstico de motores diesel mediante el análisis del aceite usado* (5ta. ed.). Barcelona, España: Reverté. Recuperado de: http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=DqJuqL_UzjC&pgis=1 (Mayo, 2015)

Universidad de Sevilla. (2013). *Ciclo Diesel*. Recuperado de: http://laplace.us.es/wiki/index.php/Ciclo_Diesel (Julio, 2014)

Varatharajan, K., & Cheralathan, M. (2012). Influence of fuel properties and composition on NOx emissions from biodiesel powered diesel engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3702-3703. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.056

Ventura, A. (2009). *O Brasil no contexto Energético Mundial*. (2da. ed.). Sao Paulo, Brasil: NAIPPE. Recuperado de: http://www.naippe.fm.usp.br/arquivos/livros/Livro_Naippe_Vol6.pdf (Abril, 2015)

Viteri, L., & Jaramillo, J. (2011). *Análisis de la degradacion de aceites lubricantes y propuesta de planes de mejora para el mantenimiento del equipo pesado del Ilustre Municipio del cantón Archidona*. (Disertación Proyecto de titulación). Recuperado de la base de datos DSpace en ESPOCH. (UDFM 65T00018). <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/947/1/65T00018.pdf>. (Febrero, 2015)

Walker, R. (2011). The Impact of Brazilian Biofuel Production on Amazônia. *Annals of the Association of American Geographers*, 101(4), 929–930. doi: 10.1080/00045608.2011.568885

Widman. (2015). *Viscosidad*. Recuperado de: <http://www.widman.biz/Selección/viscosidad.html> (Febrero, 2015)

Zapata, C. D., Martínez, I. D., Arenas, E., & Henao, C. A. (2007). Continuous biodiesel production from crude palm oil : Design and simulation of two continuous. *Dyna*, 151(1), 72-73.

6 ANEXOS

ANEXO I

Tabla 21.

Aforo del tanque de combustible del motor Deutz modelo F4L912 para cálculo del consumo de combustible

h (cm)	h (m)	$V=1,42 \times 0,67 \times h$ (m ³)	V (gal)
1	0,01	0,0095	2,51
2	0,02	0,0190	5,03
3	0,03	0,0285	7,54
4	0,04	0,0381	10,05
5	0,05	0,0476	12,57
6	0,06	0,0571	15,08
7	0,07	0,0666	17,60
8	0,08	0,0761	20,11
9	0,09	0,0856	22,62
10	0,1	0,0951	25,14
11	0,11	0,1047	27,65
12	0,12	0,1142	30,16
13	0,13	0,1237	32,68
14	0,14	0,1332	35,19
15	0,15	0,1427	37,70
16	0,16	0,1522	40,22
16,5	0,165	0,1570	41,47
17	0,17	0,1617	42,73
18	0,18	0,1713	45,24

Dimensiones del tanque de combustible del motor:

Largo (m) =	1,42
Ancho (m) =	0,67
Altura (m) =	0,18

Estos datos de aforo del tanque fueron utilizados para calcular el volumen de combustible consumido en cada período de pruebas.

ANEXO II

Tabla 22.

Modelo del registro de operación del motor de generación termoelectrica Deutz modelo F4L912

CENTRAL TERMOELECTRICA GUANGOPOLO
 REGISTRO DE OPERACIÓN MOTOR DEUTZ F4L912
 PROYECTO GENERACIÓN CON BIOCOMBUSTIBLE

FECHA: 07/01/2014



HORAS	PARAMETROS DEL MOTOR					PARAMETROS GENERADOR			
	PRESIÓN ACEITE Bar	TEMPERATURA °C	COMBUSTIBLE		NIVEL ACEITE cm	VOLTAJE V	CORRIENTE		POTENCIA KW
			TANQUE DIARIO cm	TANQUE SERVICIO galón L			A	A	
02H00	4.2	42	14.0	240 gal	Max	222	60.7	21	
04H00	4.3	41	12.8	240 gal	Max	221	60.1	21	
06H00	4.3	41	10.2	240 gal	Max	222	60.3	21	
08H00	4.3	41	16.0	225 gal	Max	222	60.3	21	
10H00	4.7	36	16.5%	215 gal 773cm	Max	222	-0-	-0-	
12H00	4.0	45	15cm 87%	215 gal 773cm	max	222	56	21	
14H00	4.1	39	13cm 75%	215 gal 773cm	max	222	56	21	
16H00	4.1	44	16cm 99%	209 gal 715cm	max	222	56	21	
18H00	4.0	38°C	14.8cm	200 gal	max	222	57	21	
20H00	4.0	39°C	17.6cm	200 gal	max	222	57	21	
22H00	4.0	43°C	12.0	200 gal	max	222	57	21	
24H00	3.8	42°C	15.5	181 gal	max	222	57	21	

Nota 1: El tanque de servicio es el tanque blanco, que se encuentra ubicado junto a la toma de diesel.

OBSERVACIONES

GRUPO 00H00 A 08H00	GRUPO 08H00 A 16H00	GRUPO 16H00 A 24H00
07:00 SE CARGA COMBUSTIBLE AL MOTOR.	08:00 Motor 21KW	16:00 241.00
08:00 8/6	07:40 Dispone del motor	No por grupo. 21 kw. Dic.
	10:00 avanza a 1000 KW-A.	21:30 Termoelectrica elusid
	11:00 Ya estan la fuel Kw y A.	24:00 5/6
	15:00 Transfieren Oil 16 cm.	1000/1
	16:00 sin otra trans	1000/1
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:

ANEXO III

Tabla 23.

Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con D100 (Diesel al 100%)

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2013-11-26	7,1		18	225		23
	4,8	41	16,8	225	58,2	23
	5,3	38	15	225	58,2	23
	5,3	39	13,7	225	58,2	23
	5,4	38	12	225	58,2	23
	5,2	38	10,5			
2013-12-05	5,6	26	15,6	225	58,5	23
	4,5	39	14,9	220	55	20
2013-12-06	3,6	48	12	222	55	21
	3,9	46	11	222	55	21
	4,7	34	10,5	222	55	21
	4,1	40	17	222	55	21
	4,2	37	16	222	55	21
	4,1	40	14,5	222	55	21
	4,1	39	16,2	222	55	21
2013-12-07	4,3	40	14,5	222	55	21
	4,3	40	13	222	55	21
	4,4	39	11,7	222	55	21
	4,4	39	10	222	55	21
	4	44	15	222	55	21
	4,3	40	14	222	55	21
	4,4	37	12,5	222	55	21
					55	21
	4,3	36	11	222	55	21
	4,4	39	15,3	222	55	21
2013-12-09	4,1	44	13	222	55	21
	4,3	39	12,3	221	55	21
	4,3	42	10,5	221	55	21
2013-12-10	4,9	32	17,3	222	55	21
	4	42	15,5	222	55	21
	4,1	43	14,5	222	55	21
	4,3	41	12,5	222	55	21
	4,4	39	11	222	55	21
2013-12-11	4,4	38	9,5	221	55	21
	4,4	38	15	221	55	21
	4,4	37	13,5	221	55	21
	4,4	38	12,5	221	55	21
	3,9	47	11	221	55	21
	3,8	48	9,5	221	55	21

ANEXO IV

Tabla 24.

Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B10

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2013-12-12	5,7	23	16	221	68	21
	2,9	48	14,2	221	68	21
	2,9	49	17	221	68	21
	3,8	42	16,3	221	68	21
	4	42	14,8	221	68	21
	4,1	44	13,5	221	68	21
	4	44	12	221	68	21
2013-12-13	4,1	42	10,8	221	68	21
	4,1	43	17	221	68	21
	4,1	43	16,1	221	68	21
	4,1	42	14,6	221	68	21
	3,1	47	12,5	221	68	21
	3	51	11,8	221	68	21
	3,5	51	9,5	221	58	21
	3,2	46	16,2	221	58	21
	4	39	14,8	221	58	21
	4	40	13,4	222	58	21
	4	41	12	221	58	21
2013-12-14	4,1	39	10,5	222	58	21
	4	39	9,6	222	60,2	21
	4,2	40	14,6	222	60,3	21
	4,2	40	12,8	222	60,2	21
	4,1	42	12	221	60,4	21
	3,9	42	10	221	60	21
	3,5	50	15	222	56	21
	3,6	41	14	222	56	21
	3,7	42	12,5	222	56	21
	3,2	42	11,3	222	52	21
	3,5	36	17,1	222	58	21
3,7	38	16	222	58	21	
3,9	39	14,8	222	58	21	

CONTINÚA →

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2013-12-15	4,1	40	13,5	221	58	21
	4,1	40	12,5	221	58	21
	4,3	37	10,5	222	58	21
	4	45	16	222	55	21
	3,7	49	15	222	55	21
	3,7	46	13,5	222	55	21
	3,7	51	12	222	55	21
	3,3	41	10,5	222	58	21
	3,7	42	9,2	222	58	21
	3,8	41	16,7	222	58	21
	3,9	41	15,5	222	58	21

ANEXO V

Tabla 25.

Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B20

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2013-12-16	5,3	22	14,5	222	58	21
	4,2	41	14,4	222	59,9	21
	3,9	49	12,8	222	60,1	21
	3,7	50	10,9	222	59,9	21
	3,7	46	9,8	221	60	21
	4	38	15,5	222	56	21
2013-12-17	4,3	40	15,3	222	59,9	21
	4	47	13,5	222	59,9	21
	4	46	11,8	222	60	21
	4	41	10,5	222	60	21
2013-12-19	4,2	37	11,5	222	59,9	21
	4,2	38	11,3	222	59,9	21
	3,9	39	9	222	58	21
	4	40	14,3	222	58	21
	4	40	12,8	222	55	21
	4	43	11,5	222	55	21
2013-12-20	4	41	9,5	222	56	21
	4	40	15	222	56	21
	4,1	42	13,5	222	56	21
	4,1	40	12,8	222	56	21
	3,9	48	10,8	222	58	21
	3,6	48	9,5	222	58	21
	3,1	47	8,1	222	58	21
	3	50	16,5	222	58	21
	3,9	43	15,3	222	55	21
	4	40	14,5	222	55	21
	4	40	12,3	222	55	21
	4	42	11,4	222	55	21

CONTINÚA →

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2013-12-21	4	42	10,4	222	59	21
	3,9	40	8,7	222	59	21
	3,9	40	7,3	222	60	21
	4	39	14	222	60,1	21
	3,2	48	11	222	58	21
	3,1	48	9,5	222	58	21
	3,1	48	8,5	222	58	21
	3,1	46	15,8	222	58	21
	4	39	14,5	222	55	21
	4,1	39	13,5	222	55	21
	4,1	39	12,4	222	55	21
	4,1	40	10,5	222	55	21
2013-12-22	4	40	8,9	222	60	21
	4,1	40	7,3	222	60,2	21
	4,1	39	5,8	222	60,2	21
	4,1	39	14	222	60,1	21
	3,9	48	12,5	222	55	21
	3,7	50	10,5	222	55	21
	3,7	48	8,5	222	55	21
	3,7	48	14,5	222	55	21
	4	41	13,5	222	54	21
	4,1	39	12,5	222	55	21
	4,2	40	10	222	56	21
	4,2	40	9	222	56	21
2013-12-23	4,3	40	14	222	56	21
	4,3	43	13	222	56	21
	4,3	42	11,5	222	56	21
	4,3	43	10	222	56	21
	4,1	46	9	222	55	21
	3,8	48	16,5	222	55	21
	3,7	48	15,5	222	55	21
	4	46	14	222	55	21
2013-12-26	4	47	11	222	56	21
	3,7	49	9,7	222	56	21

ANEXO VI

Tabla 26.

Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B50

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2014-01-06	4,1	39	16,5	222	53	21
	3,8	44	15	222	53	21
	3,7	43	13,5	222	53	21
	4,9	32	16	222	55	21
	4,2	43	14,5	222	55	21
	4,1	41	13	222	53	21
	4,2	42	15,5	222	53	21
	2014-01-07	4,2	42	14	222	60,3
4,3		41	12,8	222	60,1	21
4,3		41	10,2	222	60,2	21
4,3		41	16	222	60,3	21
4,7		36	16,5	222		21
4		45	15	222	56	21
4,1		39	13	222	56	21
4,1		44	16	222	56	21
4		39	14,8	222	57	21
4		39	13,6	222	57	21
4		43	12	222	57	21
3,9		42	15,5	222	57	21
2014-01-08		4,3	41	14,5	222	53
	4,3	41	13,2	222	53	21
	4,3	41	11,8	222	53	21
	4,2	42	16,5	222	53	21
	4	47	16,5	221	53	21
	3,9	47	16	222	56	21
	3,9	48	14,5	222	56	21
	4	47	13	222	56	21
	3,8	41	17	221	57	21
	3,9	42	15,8	221	57	21
	3,9	43	14	222	57	21
	3,9	43	15,5	221	57	21

CONTINÚA →

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2014-01-09	4,2	42	14,3	221	53	21
	4,2	42	13	222	53	21
	4,3	40	11,8	222	53	21
	4,3	43	16,5	221	53	21
	4,2	45	17,1	222	60,1	21
	4,3	43	15,8	222	60,1	21
	4,2	44	14,6	222	60,9	21
	4,1	43	15,9	221	60,3	21
	4,3	43	15,5	218	50	19
	4,4	42	14,5	218	50	19
	4,4	40	13	217	50	19
	4,4	41	16	218	50	19
2014-01-10	4,1	39	17	217	52	19
	4	40	15,5	217	52	19
	3,9	41	14	217	53	19
	4	40	16,5	217	53	19
	4,1	41	15,3	221	60,1	19
	4,2	42	17,4	222	60,2	21
	4,1	42	15,6	222	60,1	21
	4,2	43	14,2	221	60,2	21
	4,2	40	16,5	221	54	21
	4,3	40	15,3	221	54	21
	4,3	42	13,5	221	54	21
	4,3	41	16	221	54	21
2014-01-11	4,1	41	14,5	221	50	21
	4	41	14,6	221	52	21
	4	41	13	221	52	21
	4,1	41	16,5	221	50	21
	4,2	44	15,5	221	55	21
	4	47	14,5	221	53	21
	3,9	47	13	221	53	21
	3,6	47	17	221	53	21
	3,7	44	15,4	221	60	21
	3,5	44	14	221	60,1	21
	3,3	44	15,8	221	60	21
	3	44	14,3	221	60,1	21
2014-01-12	2,9	43	16	221	54	21
	2,6	44	14	221	54	21
	2,6	41	12,5	221	54	21

ANEXO VII

Tabla 27.

Datos obtenidos de los registros de operación del motor de generación termoeléctrica Deutz modelo F4L912, al operar con B100

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2014-01-15	4	39	16	221	54	21
	3,2	51	14,5	221	54	21
	3,5	42	13,4	221	54	21
	3,2	40	12	221	56	21
	3,6	40	15,5	221	54	21
	4	40	14	221	54	
	3,7	40	16	221		
2014-01-16	4	41	8,5	221	54	21
	3,5	48	15,5	221	54	21
	3,4	47	14	221	54	21
	3,7	42	13	221	54	21
	3,4	41	16,6	221	56	21
	3,8	39	15	221	56	21
	3,9	39	13,5	221	56	21
	3,8	40	16,8	221	56	21
2014-01-17	4,1	40	15,5	221	53	21
	4,2	38	14	221	53	21
	4,2	39	13	221	53	21
	4,2	39	12	221	53	21
	3,8	47	17,2	221	56	21
	3,7	46	15,8	221	56	21
	3,6	45	14,3	221	55	21
	3,7	42	13,4	221	55	21
	4	38	11	221	54	21
	4,1	38	15,3	221	54	21
	4,1	41	14	221	54	21
	4,2	39	12,5	221	54	21

CONTINÚA →

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2014-01-18	4	39	16,5	221	56	21
	3,9	40	15	221	56	21
	3,8	40	13,5	221	56	21
	4,2	38	16	221	56	21
	4	43	14,6	221	56	21
	3,8	46	12,4	221	56	21
	3,7	45	11	221	56	21
	3,9	45		221	54	21
	4,2	40	15,5	221	54	21
	4,2	38	14	221	54	21
	4,3	37	12,7	221	54	21
	4,3	38	11,5	221	54	21
	2014-01-19	4,1	39	16,5	221	54
4,2		39	15	221	56	21
4		38	13,5	221	56	21
4,1		38	16,5	221	56	21
4,1		41	15	221	55	21
3,3		45	13,5	221	55	21
3,3		45	12,5	221	55	21
3,3		42	16,5	221	55	21
3,9		40	14,8	221	56	21
4,2		37	13,4	221	56	21
4,2		37	11,8	221	56	21
4,1		36	15,9	221	56	21
2014-01-20		4,3	39	12,8	221	54
	4,3	38	11,5	221	54	21
2014-01-21	5,2	36	15,8	228	41	13
	3,5	40	14,5	221	56	21
	4	41	13,2	221	55	21
	4,1	37	12	221	53	21
	4,2	36	10,5	221	53	21
	4,2	37	17	221	53	21
2014-01-22	4,2	37	15,5	221	56	21
	4	36	13,8	221	56	21
	3,7	37	12,5	221	56	21
	3,8	38	11,2	221	56	21
	3,9	39	8,5	221	56	21
	3,2	45	17	221	56	21
	3,3	45	15,3	221	56	21
	3,4	43	16,8	221	56	21
	4,4	38	16	221	55	21
	4,4	39	14,5	221	54	21
	4,4	39	12,3	221	53	21
	4,5	38	17	221	53	21

CONTINÚA →

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2014-01-23	4,3	38	15,5	222	56	21
	4,2	38	13,7	221	56	21
	3,7	36	12	221	56	21
	4	37	16,2	221	56	21
	4,3	41	15,5	221	53	21
	4,1	47	13,5	221	53	21
	4	47	12	221	53	21
	3,8	46	17	221	53	21
	4	44	15,5	221	56	21
	4	41	14	221	56	21
	4,5	39	12,2	221	56	21
	4,5	38	10,8	221	56	21
	2014-01-24	4	38	16,9	221	56
3,9		38	15,5	221	56	21
3,9		39	13	221	56	21
4,4		32	16	221	56	21
4,4		42	13,8	221	56	21
4,2		42	12,3	221	56	21
4		44	14,6	221	56	21
4		43	13	221	56	21
4,3		41	12	221	55	21
4,5		38	18	221	55	21
4,5		39	16	221	55	21
4,5		39	14,5	221	55	21
2014-01-25		4,2	39	17,5	221	56
	4,2	39	15,8	221	56	21
	4,2	38	14	221	56	21
	4,3	39	12,5	221	56	21
	4,4	45	11,9	221	56	21
	4,2	44	10,7	221	56	21
	3,9	46	14,6	221	56	21
	4	46	13,8	221	56	21
	4,1	43	15,5	221	56	21
	4,2	40	14	221	56	21
	4,3	38	15,5	221	56	21
	4,2	37	16,5	221	56	21

CONTINÚA →

FECHA	DATOS DEL MOTOR			DATOS DEL GENERADOR		
	PRESIÓN (Bar)	TEMP. (°C)	NIVEL TANQUE DIARIO (cm)	VOLTAJE (V)	CORRIENTE (A)	POTENCIA (kW)
2014-01-26	4,8	35	15	221	55	21
	4,8	35	13,5	221	55	21
	4,8	36	12	221	55	21
	4,8	36	15,5	221	55	21
	4,4	40	13,8	221	56	21
	4,2	46	12,3	221	56	21
	4,2	43	9,9	221	56	21
	4,1	47	16,3	221	56	21
	4	44	15	221	56	21
	4,2	38	15,2	221	56	21
	4,3	37	13,7	221	56	21
	4,4	37	12,3	221	56	21
2014-01-27	4,6	39	10,5	221	56	21
	4,5	38	9	221	55	21
	4,5	38	8	221	55	21
	4,2	40	6,5	221	55	21
	3,8	40	4,8	221	56	21
	3,3	46	3	221	56	21

ANEXO VIII

Tabla 28.

Datos obtenidos de los informes de resultados de los análisis de aceites lubricantes, emitidos por el Laboratorio de Control Químico de CELEC E.P. Termopichincha

Ensayo realizado	Unidad	Método	Resultados Aceites Lubricantes								
			Nuevo	Al operar con D100 (1)	Al operar con D100 (2)	Al operar con D100 (3)	Al operar con B10 (1)	Al operar con B20 (1)	Al operar con B50 (1)	Al operar con B100 (1)	Al operar con B100 (2)
Color	Unidades de color ASTM	ASTM D1500-07	3,0	---	---	---	---	---	---	---	---
Contenido de agua	Cualitativo	Crepitación	Trazas*	Trazas*	Trazas*	Trazas*	Trazas*	Trazas*	Trazas*	Trazas*	Trazas*
Densidad a 15°C	g/mL	ASTM D4052-11	0,8770	0,8776	0,878	0,8763	0,8809	0,8808	0,8787	0,8761	0,8995
Densidad relativa 60/60 °F	---	ASTM D4052-11	0,8775	0,8785	0,8785	0,8768	0,8814	0,8813	0,8792	0,8766	0,8900
Índice de viscosidad	---	ASTM D2270-04	137	---	---	---	---	---	---	---	---
Insolubles en pentano	% p/p	ASTM D893-05a	---	0,22	0,15	0,19	0,27	0,25	0,22	0,12	0,15
Número de neutralización (BN)	mg KOH/g	ASTM D2896-07a	18,18	10,29	10,74	11,93	11,73	10,90	11,30	10,24	14,33
Grados SAE	°SAE	De tablas	40	---	---	---	---	---	---	---	---
Punto de Inflamación	°C	ASTM D92-05	218	224	221	221	232	232	221	229	232

Nota: * Trazas < 0,05 % v/v)

CONTINÚA →

Ensayo realizado	Unidad	Método	Resultados Aceites Lubricantes								
			Nuevo	Operando con D100 (1)	Operando con D100 (2)	Operando con D100 (3)	Operando con B10 (1)	Operando con B20 (1)	Operando con B50 (1)	Operando con B100 (1)	Operando con B100 (2)
Viscosidad cinemática a 40°C	cSt	ASTM D445-06	113,07	114,03	114,65	116,43	141,67	159,54	120,90	128,90	184,48
Viscosidad cinemática a 100°C	cSt	ASTM D445-06	14,97	15,91	16,99	16,47	17,47	19,51	16,12	17,16	21,63
Hierro	ppm	ASTM D6595-00	3,56	39,18	38,34	11,80	23,36	22,88	13,21	17,45	41,35
Cromo			0,06	7,66	7,79	1,78	5,00	5,09	2,62	2,55	4,15
Plomo			0,00	1,52	1,88	0,00	2,06	2,28	1,32	2,05	6,26
Cobre			0,04	5,29	5,98	2,30	4,93	5,32	2,91	2,45	10,16
Estaño			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio			2,49	11,41	11,69	5,37	10,75	11,24	7,09	7,82	12,29
Níquel			0,44	0,72	0,46	0,70	0,64	0,57	0,84	0,42	1,16
Plata			0,35	0,36	0,37	0,46	0,35	0,26	0,31	0,06	0,08
Silicio			4,29	11,44	10,16	4,77	7,44	6,87	5,57	5,16	7,84
Boro			0,81	1,13	1,08	1,09	1,06	0,55	0,38	0,29	0,44
Sodio			8,24	11,92	12,04	9,90	11,78	15,31	11,30	10,66	7,45
Magnesio			11,94	18,33	19,11	12,83	18,40	14,52	12,48	13,86	18,04
Calcio			2 491,00	2 732,00	2 781,00	2 581,00	3 035,00	3 246,00	2 821,00	2 959,00	3 505,00
Bario			0,04	0,35	0,32	0,14	0,21	0,50	0,48	0,09	0,20
Fósforo			1 165,00	1 077,00	1 079,00	1 204,00	999,52	1 131,00	1 198,00	1 222,00	1 223,00
Zinc			1 490,00	1 464,00	1 471,00	1 496,00	1 538,00	1 494,00	1 540,00	1 466,00	1 634,00
Molibdeno	5,34	5,44	5,04	5,15	5,24	1,88	2,27	1,29	1,77		
Titanio	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,14	0,21	0,01	0,21		
Vanadio	1,32	1,67	1,51	2,13	1,15	1,15	0,96	0,90	1,93		
Manganeso	1,16	1,82	2,06	2,46	1,48	1,14	1,05	0,52	1,11		
Cadmio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,59	0,00		

ANEXO IX

Tabla 29.

Datos obtenidos de los informes de resultados de los monitoreos de emisiones a la atmósfera, emitidos por la Unidad de Gestión Ambiental Guangopolo de CELEC E.P. Termopichincha y por un laboratorio externo

Combustible	Monitoreo Laboratorio	Fecha de monitoreo	CO (mg/Nm³)	SO₂ (mg/Nm³)	NO_x (mg/Nm³)	Material Particulado (mg/Nm³)
D 100	Interno	2013-12-06	698	254	1 839	6,8
	Interno	2013-12-09	441	168	1 838	7,1
	Interno	2013-12-11	566	120	1 933	6,5
B10	Interno	2013-12-13	531	119	2 010	6,9
	Interno	2013-12-16	459	147	1 949	6,6
	Interno	2013-12-17	529	133	1 968	6,5
B20	Interno	2013-12-19	521	134	2 013	9,9
	Interno	2013-12-23	486	111	2 027	3,8
	Interno	2013-12-26	538	117	1 989	6,5
B50	Interno	2014-01-06	517	108	2 484	7,9
	Externo	2014-01-07	439	116	1 846	5,8
	Externo	2014-01-08	489	74	1 902	6,5
B100	Externo	2014-01-16	530	63	2 190	8,3
	Externo	2014-01-17	509	20	1 932	7,2
	Interno	2014-01-30	379	52	2 029	4,3