

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de: Ingeniero Eléctrico

**TEMA:
ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA DEL USO DE BIODIESEL EN
CENTRALES TERMOELÉCTRICAS**

**AUTOR:
ROBERTO CARLOS TÚQUERES OÑA**

**DIRECTOR:
JUAN CARLOS HERRERA HEREDIA**

Quito, marzo de 2015

DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, Roberto Carlos Túqueres Oña autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 02 de Marzo del 2015

Roberto Carlos Túqueres Oña
CC: 1715885834

AUTOR

Ing. Juan Carlos Herrera Heredia

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos, realizado por el Sr. Roberto Carlos Túqueres Oña, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 02 de Marzo del 2015

Ing. Juan Carlos Herrera Heredia
DIRECTOR

DEDICATORIA.

*Este proyecto es dedicado a mi esposa Soraya Elizabeth,
a mis hijos David Alejandro y Alejandra Josefina,
mis padres y hermanos que siempre me han brindado
su apoyo incondicional para la culminación de mi carrera.*

Roberto Carlos Túqueres Oña

AGRADECIMIENTO.

*Agradezco de manera muy sincera a todo el personal docente
de la Universidad Politécnica Salesiana
por el conocimiento impartido.*

*Un agradecimiento muy especial al Ing. Juan Carlos Herrera
por todo el apoyo incondicional brindado
durante la ejecución del presente trabajo.*

Roberto Carlos Túqueres Oña

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARATORIA DE AUTORÍA:	ii
CERTIFICA:	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiv
Resumen.....	xv
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Motores de Combustión Interna.....	1
1.2.1 Ciclo Otto	2
1.2.2.2 Operación de una Planta Diésel	7
1.3 Centrales de Gas de Ciclo Abierto	8
1.3.1 Gas Natural.....	9
1.3.2 El Ciclo Brayton.....	10
1.3.3 Turbina de gas	11
1.3.3.1 Compresor de aire	12
1.3.3.2 Cámara de Combustión	14
1.3.3.3 Turbina de Gas	16
1.4 Características físicas del diésel para generación de electricidad	17
CAPITULO II	18
BIOCOMBUSTIBLES	18
2.1 Características físico-químicas del biodiesel	18
2.1.1 Reseña histórica.....	19
2.1.2.1 Aceites vegetales convencionales	22
2.1.2.2 Aceites vegetales alternativos	22
2.1.2.3 Aceites vegetales modificados genéticamente	23

2.1.2.4 Aceites de fritura usados	23
2.1.2.5 Grasas animales.....	24
2.1.2.6. Aceites de otras fuentes.....	24
2.1.3 Proceso químico	25
2.1.4 Esterificación de ácidos grasos	26
2.1.5 Los catalizadores	27
2.2 Infraestructura para producción de biodiesel	28
2.2.1 Proceso Discontinuo.....	28
2.2.2 Proceso Continuo	30
2.2.3 Proceso de esterificación.....	31
2.2.4 Proceso Combinado Esterificación-Transesterificación	32
2.2.5 Proceso en condiciones supercríticas	33
2.3 Producción de biodiesel a partir de palma aceitera	34
2.3.1 Reseña Histórica.....	34
2.3.2 Etapas de Proceso.....	35
2.3.2.1 Parámetros críticos en la operación.....	36
2.3.2.2 Seguridad.....	36
2.3.2.3 Calidad	37
2.3.2.4 Costos de capital.....	37
2.3.2.5 Costos de operación	38
2.4 Producción de Palma Aceitera en Ecuador	39
CAPITULO III	41
VIABILIDAD TÉCNICA	41
3.1 Compatibilidad físico-química del reemplazo	41
3.1.1 Número de Cetano.....	43
3.2 Porcentajes de sustitución de diésel por biodiesel	44
3.3 Determinación del área del cultivo energético	47
3.4 Costo variable de Producción de la Central Modificada.....	55
CAPITULO IV	61
ANÁLISIS ECONÓMICO	61
4.1 Costos de operación de la central.....	61
La determinación por unidad de generación se encuentra en los anexos.....	61

4.2 Costo de operación de la central modificada	61
4.3 Sensibilidad de costos en función del porcentaje de mezcla.....	63
4.4 Evaluación de factibilidad económica.....	63
4.4.1 VALOR PRESENTE NETO (VPN).....	66
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES	73
ANEXOS.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Motor de encendido por chispa de cuatro tiempos.....	2
1.2	Diagrama P-V de un motor encendido por chispa.....	3
1.3	En los motores diésel la bujía se reemplaza por un inyector de combustible, y sólo se comprime el aire durante el proceso de compresión.....	5
1.4	Funcionamiento físico del motor diésel.....	6
1.5	Diagrama esquemático de una planta diésel.....	8
1.6	Reservas de gas natural.....	10
1.7	Diagramas P-V y T-s para el ciclo Brayton.....	11
1.8	Motor de turbina de gas de ciclo abierto.....	12
1.9	Compresor tipo axial.....	13
1.10	Cámara de combustión hacia arriba.....	14
1.11	Cámara de combustión hacia abajo y porta flama.....	15
2.1	Proceso biodiesel.....	20
2.2	Reacciones implicadas en la transesterificación.....	26
2.3	Reacción de esterificación.....	27
2.4	Ventajas e inconvenientes de los catalizadores utilizados en la transesterificación.....	28
2.5	Proceso de transesterificación.....	29
2.6	Proceso de producción de biodiesel mediante reactores de flujo pistón.....	31
2.7	Proceso de esterificación.....	32
2.8	Proceso de producción de biodiesel mediante esterificación/transesterificación.....	33

2.9	Proceso de producción de biodiesel mediante proceso supercrítico.....	34
2.10	Aceite de Palma Africana <i>Elaeis Guineensis</i>	35
2.11	Proceso de extracción de aceite.	36
2.12	Instalación general.....	37
2.13	Costos operativos totales.....	38
2.14	Costos del biodiesel.	39
2.15	Localización geográfica de plantaciones y complejos energético e industrial.....	40
3.1	Consumo estimado de combustibles, período 2013 – 2022, escenario hidrológico medio.....	48
3.2	Tendencia del consumo biodiesel 2013 – 2022	50
3.3	Evolución de los excedentes de producción de aceite de palma 2000 – 2009.....	54
3.4	Cultivo Palma Africana por ha	55
3.5	Costo de combustible.....	57
3.6	Costo variable de producción en Centrales Termoeléctricas modificadas.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Requisitos del diésel No. 2.	16
2.1	Norma ASTM D6751-09.....	19
3.1	Comparación de propiedades del biodiesel y diésel.....	42
3.2	Calor de combustión y número de cetano de diferentes tipos de biodiesel.....	43
3.3	Norma ASTM D7467-10. Especificación estándar para diésel. Biodiesel mezcla (B6 – B20).....	44
3.4	Recomendaciones de uso de biodiesel de los fabricantes de automóviles y motores....	46
3.5	Consumo diésel tipo2 por años.....	47
3.6	Consumo estimado de combustibles, período 2013 – 2022, escenario hidrológico medio.....	48
3.7	Consumo estimado diésel tipo 2 en centrales termoeléctricas y remplazo por B5, B10, B15, B20.....	49
3.8	Factores de transformación.....	49
3.9	Consumo de diésel del sector de Transporte Pesado y aplicación del decreto 1303....	51
3.10	Consumo de biodiesel del sector de Transporte Pesado y Centrales Termoeléctricas..	52
3.11	Estratificación de las Plantaciones de Palma aceitera por superficie.....	52
3.12	Rendimiento de biodiesel por fuente de origen.....	53
3.13	Hectáreas de cultivo de Palma aceitera para abastecer consumo de biodiesel de Transporte.....	54
3.14	Precios en el Mercado Internacional de Diésel y Biodiesel.....	56

3.15	Costo de combustible con reemplazo B5, B10, B15, B20, en Centrales Termoeléctricas.....	57
3.16	Costo variable de producción realizado el reemplazo por B5, B10, B15, B20 en Centrales Termoeléctricas.....	59
4.1	Costo de operación de las Centrales Termoeléctrica con diésel subsidiado.....	61
4.2	Costo total de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B5.....	62
4.3	Costo de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo 10.....	62
4.4	Costo de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B15.....	62
4.5	Costo de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B20.....	62
4.6	Costo variable de producción de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B5, B10, B15, B20.	63
4.7	Costos de producción Biodiesel.	63
4.8	Costos de instalación proyectados para plantas de Biodiesel.	64
4.9	Inversiones para el país en Plantas de Biodiesel.	65
4.10	Flujo de fondos para las mezclas B5, B10.	66
4.11	Flujo de fondos netos para B5.....	67
4.12	Flujo de fondos netos para B10.	68
4.13	Flujo de fondos netos para B15.	68
4.14	Flujo de fondos netos para B20.	69
4.15	Costo US\$/gal, VAN, TIR para B5.	69
4.16	Costos de Mezclas biodiesel, VPN, TIR.	70

ÍNDICE DE ANEXOS

Costos de mezclas de biodiesel.....	76
-------------------------------------	----

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ANCUPA	Asociación nacional de cultivadores de palma africana
FEDEPAL	Fundación de fomento de exportadores de aceite de palma
Transesterificación	Proceso químico para obtener biodiesel de aceite vegetal
Termodinámica	Estudia las transformaciones de la energía
Diesel	Combustible de origen fósil
Biodiesel	Combustible de origen vegetal
Combustión	Quemar un combustible en una cámara
Turbina	Máquina que produce trabajo
ElaeisGuineensis	Palma Africana
Numero de cetano	Suavidad de combustión
CELEC E.P.	Corporación Eléctrica del Ecuador Empresa Pública
TM	Tonelada métricas
CVP	Costo variable de producción
US\$/gal	Dólares americanos por galón
US\$/kWh	Dólares americanos por kilovatio-hora
GWh	Gigawatios-hora consumo de energía
US\$	Dólar americano
VPN	Valor actual neto
TIR	Tasa interna de retorno

Resumen

ANÁLISIS DE VIABILIDAD TÉCNICA DEL USO DE BIODIÉSEL EN CENTRALES TERMOELÉCTRICAS

Roberto Carlos Túqueres Oña

rtuqueres@est.ups.edu.ec

Universidad Politécnica Salesiana

Resumen—En el presente trabajo se analiza el funcionamiento de los motores de combustión interna y las turbinas a gas que consumen combustible fósil para la generación de electricidad en las centrales termoeléctricas.

Se estudia la obtención de biodiesel de origen vegetal, obtenido por un proceso de transesterificación del aceite de palma africana y se investiga su posible compatibilidad físico-química con el diesel convencional derivado de petróleo con el fin de determinar la posibilidad de reemplazarlo.

Se aplica la normativa emitida en el Ecuador tanto para el sector eléctrico como la relacionada con el uso del biodiesel para el sector de transporte.

Se analizan los costos variables de producción de las centrales termoeléctricas que utilizan diesel con los posibles reemplazos de biodiesel en diversos escenarios.

Finalmente, se investiga la pre factibilidad financiera del proyecto de sustitución de diesel por biodiesel.

Índice de Términos—Motores combustión interna, turbinas a gas, centrales termoeléctricas, biodiesel, costos variables de producción, palma africana, cultivo energético, rendimiento.

Abstract—

In this paper the performance of internal combustion engines and gas turbines that consume fossil fuel for electricity generation in power plants is analyzed.

Obtaining biodiesel from vegetable origin, obtained by a process of transesterification of palm oil and its possible physical-chemical compatibility with conventional petroleum-derived diesel in order to determine the possibility of replacing investigated studied.

Regulations issued in Ecuador for both the electricity sector as related to the use of biodiesel for the transport sector is applied.

The varying costs of producing power plants that use diesel with biodiesel potential replacements in various scenarios are analyzed.

Finally, the prefinancial feasibility of replacing diesel with biodiesel research.

Keywords—Internal combustion engines, gas, thermal power plants, biodiesel, variable production costs, oil palm, energy crop turbine performance.

CAPITULO I

GENERALIDADES

En este capítulo realiza una descripción del funcionamiento de los elementos que conforman una central termoeléctrica en las cuales las transformaciones energéticas parten de la combustión de un combustible fósil para la producción de energía térmica, la transformación de ésta en energía mecánica y finalmente la obtención de energía eléctrica.

1.1 Introducción

El aumento en la demanda del consumo de energía eléctrica en Ecuador está en crecimiento. Por esta razón las centrales termoeléctricas con motores de combustión internase emplean habitualmente. Estas, para su funcionamiento, utilizan combustibles como el fuel oil y el diésel, que se queman para producir movimiento rotatorio de un eje luego de un proceso de transformación de energía térmica en mecánica.

A continuación se realiza una descripción de las centrales que emplean combustibles fósiles de gas de ciclo abierto, la termodinámica que se utiliza en este tipo de motor, con el respectivo detalle de otros elementos que intervienen en el funcionamiento de este tipo de central, que como su nombre lo indica utiliza otro combustible que es el gas.

Finalmente se describen las características físicas del diesel que se usa en este tipo de motor, dentro de una central de producción de energía eléctrica.

1.2 Motores de Combustión Interna

Un motor de combustión interna es una máquina térmica que recibe calor a alta temperatura, por el quemado de un combustible dentro del motor. El combustible suele

ser un hidrocarburo, como gasolina, queroseno o diesel, en otras ocasiones se utilizan gas LP, metano (gas natural) y otros. En el caso normal, el combustible se mezcla con aire dentro del motor, esta mezcla se quema rápidamente, y los gases de escape que se producen están a alta temperatura y presión. Entonces, los gases calientes se expanden en el motor, y ello produce trabajo. Por último, los gases salen del motor después de llegar a una baja presión y baja temperatura, y es posible comparar esa liberación a una transferencia de calor hacia una región de baja temperatura [15].

Los ciclos Otto y Diésel son los dos ciclos termodinámicos utilizados para describir el funcionamiento de los motores de combustión interna

1.2.1 Ciclo Otto

El motor de encendido por chispa está basado en principios teóricos enunciados por el francés Beau de Rochas en 1862, según los cuales la combustión se verifica a volumen constante, y fue realizado prácticamente por el alemán Nikolaus A. Otto en 1876[3]. En este tipo de motor el émbolo ejecuta cuatro tiempos completos, dos ciclos mecánicos dentro del cilindro, y el cigüeñal completa dos revoluciones por cada ciclo termodinámico. Son llamados motores de combustión interna de cuatro tiempos. En la figura 1.1 se observa cada tiempo.

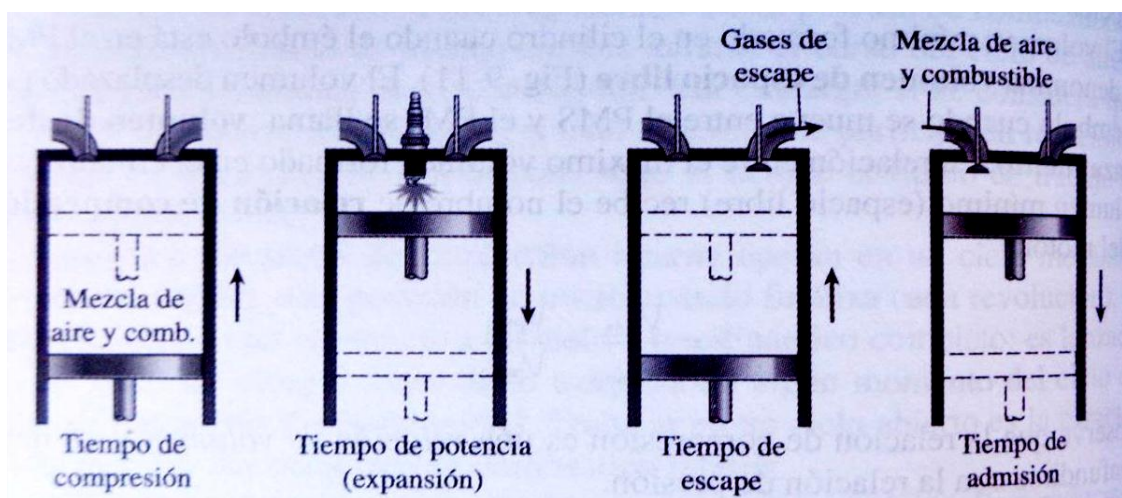


Figura 1.1 Motor de encendido por chispa de cuatro tiempos.

Fuente: Cengel Yunus A., *Termodinámica, México, McGraw Hill, 2012.*

Inicialmente, la válvula de admisión como la de escape están cerradas y el émbolo se encuentra en su posición más baja (PMI). Durante la carrera de compresión, el émbolo se mueve hacia arriba y comprime la mezcla de aire y combustible. Un poco antes de que el émbolo alcance su posición más alta (PMS), la bujía produce una chispa y la mezcla se enciende, con lo que aumenta la presión y la temperatura del sistema. Los gases de alta presión empujan al émbolo hacia abajo, lo que obliga al cigüeñal a girar, lo que produce un trabajo útil. En la terminación del primer ciclo mecánico, el émbolo se encuentra en su posición más baja, y el cilindro se llena con los productos de la combustión. Luego el émbolo se mueve hacia arriba una vez más y evacua los gases de escape, para caer por segunda vez extrayendo una mezcla fresca de aire y combustible a través de la válvula de admisión.

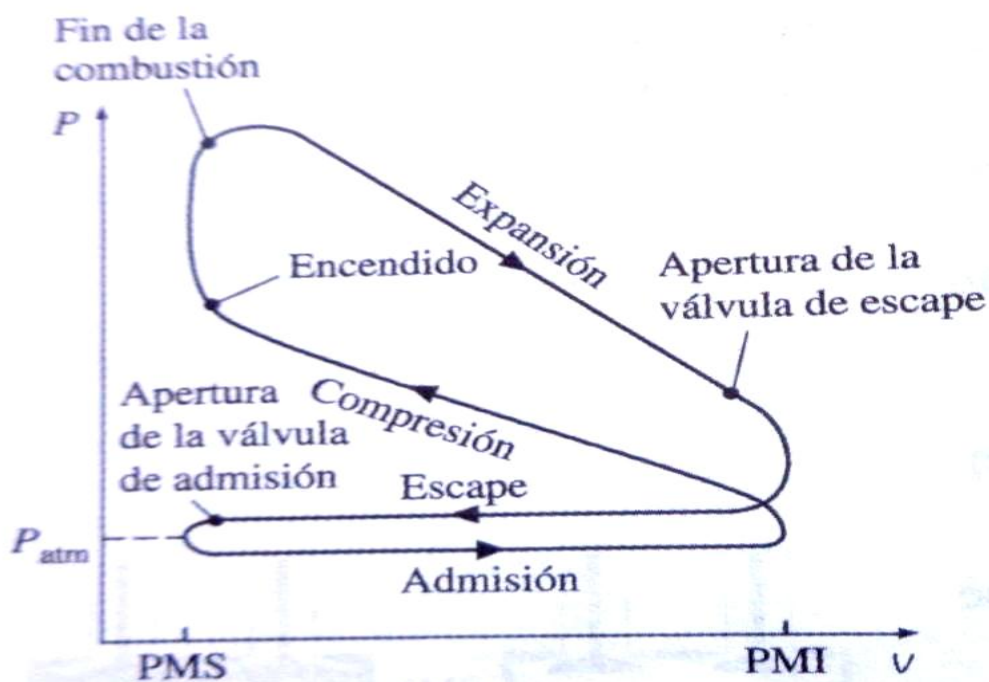


Figura 1.2 Diagrama P-V de un motor encendido por chispa.

Fuente: Cengel Yunus A., *Termodinámica, México, McGraw Hill, 2012.*

El combustible de un motor Otto es la gasolina, esto es: hidrocarburos ligeros de elevado poder calorífico, que se evaporan fácilmente. Con el uso de mezclas de gasolina

que tiene buenas características de antidetonante, como la gasolina mezclada con tetra etilo de plomo se ha conseguido mejorar la eficiencia térmica. El tetra etilo de plomo se ha agregado a la gasolina desde 1920 debido a que es el método más económico para elevar el índice de octanaje, que es una medida de la resistencia de un combustible al golpeteo del motor. Sin embargo la combustión de gasolina con plomo contamina el ambiente y son muy peligrosos para la salud. A partir de 1975 se han diseñado motores que utilicen gasolina sin plomo, y las relaciones de compresión se han reducido para evitar el golpeteo del motor. Pueden usarse también combustibles gaseosos o gas licuado, pero su empleo es menos práctico y, por ello, menos difundido.

1.2.2 Ciclo Diésel

El motor diésel es una máquina térmica que fue creada por el ingeniero alemán de origen francés Rudolf Diésel en el año 1892, basado en que el trabajo de compresión rápida en un medio incrementa su energía interna y su temperatura, propuso comprimir solo aire hasta que alcanzara una temperatura lo suficientemente elevada para que lograra encender el combustible, y la combustión inicia al contacto, cuando el combustible se inyecta dentro de este aire caliente. Por lo tanto, en los motores diésel la bujía y el carburador son sustituidos por un inyector de combustible.

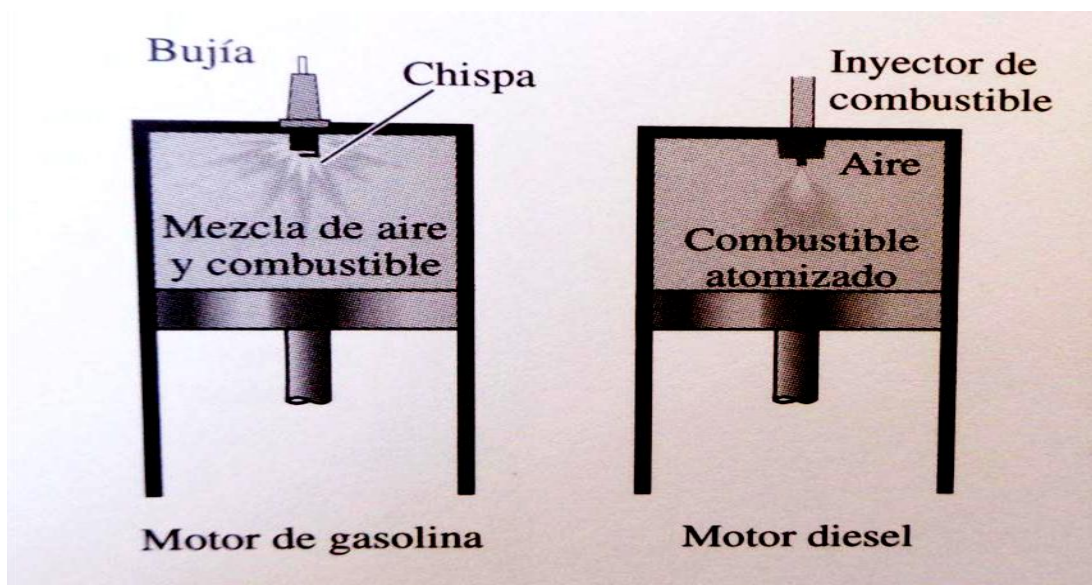


Figura 1.3 *En los motores diésel la bujía se reemplaza por un inyector de combustible, y sólo se comprime el aire durante el proceso de compresión.*

Fuente: *Cengel Yunus A., Termodinámica, México, Mcgraw Hill, 2012.*

Es por lo tanto que el motor diésel se entiende como un émbolo con formación de la mezcla interior, heterogénea y autoencendido. En el tiempo de compresión se comprime el aire de unos 30 a 55 bar en los motores de aspiración o de unos 80 a 110 bar en los motores sobrealimentados, y se calienta a unos 700 a 900° C. Esta temperatura resulta suficiente para provocar el autoencendido del combustible inyectado (20 a 30° C) justo antes de alcanzar el Punto Muerto Superior (PMS) del émbolo. Los procesos de mezcla y explosión, que ocurren de manera casi simultánea en los motores diésel son la causa de que el tiempo necesario para consumir todo el combustible inyectado sea muy superior al que se necesita en motores de ciclo Otto.

1.2.2.1 Ciclo Termodinámico Diésel

Este ciclo comprende la evolución sucesiva de procesos que experimentan un mismo fluido desde un estado termodinámico inicial, regresando a dicho estado, los ciclos termodinámicos son considerados con el uso de un único gas perfecto en todo el ciclo, el aire, y en nuestro caso de estudio se denomina ciclo diésel ideal para máquinas de encendido por compresión; que integra los siguientes procesos [15].

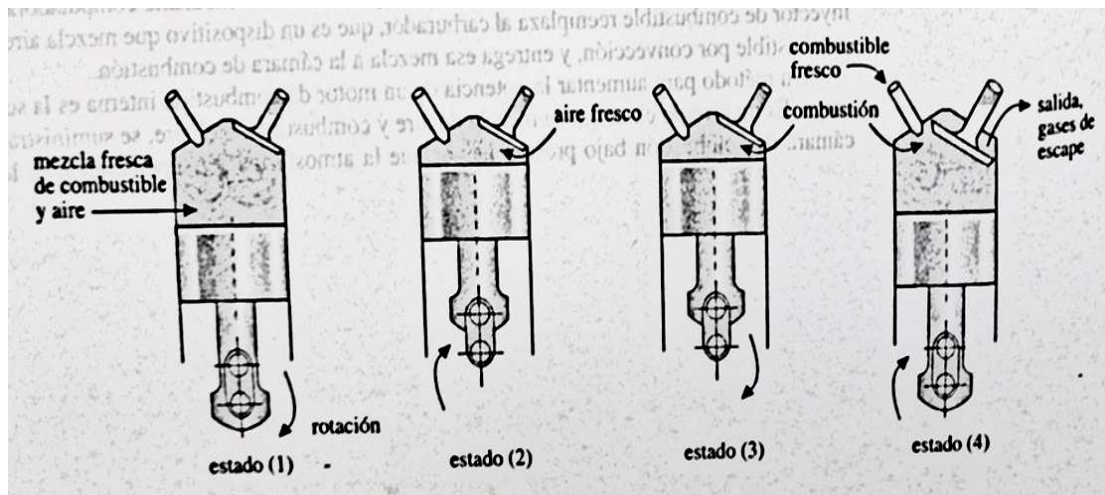


Figura 1.4 Funcionamiento físico del motor diésel.

Fuente: Cengel Yunus A., *Termodinámica, México, Mcgraw Hill, 2012.*

Compresión.- El fluido que se comprime consta de aire y residuales, un dato importante de considerar en este punto es tomar la variación de la composición del fluido como consecuencia de la recirculación de gases quemados y de los productos de la combustión. El exceso de aire asegura la combustión a más de favorecer el punto de vista económico, sino también la reducción de los productos contaminantes del gasóleo no quemado totalmente.

La relación de compresión en los Motores de Encendido por Compresión es más elevada con valores que oscilan entre los 14:1 y 22:1 que en los Motores de Encendido Provocado.

Combustión.- Se realiza por autoencendido y además en gran parte es controlado por la inyección. Entre el comienzo de la inyección de la impulsión de combustible por la bomba de inyección y el comienzo efectivo de la inyección en la tobera transcurre un breve periodo que se denomina retraso de la inyección. En esta fase existe una combustión premezclada responsable del aumento de presión y, por lo tanto del ruido de la combustión y de la cantidad de óxido de nitrógeno generado; que ocurre con gran rapidez, otra fase es una combustión por difusión controlada por la inyección que es más lenta, provoca la formación de hollín y de hidrocarburos sin quemar.

Respectivamente la primera fase da un volumen constante (Combustión premezclada) y la segunda a presión constante (Combustión por difusión).

Expansión.- Se produce a consecuencia del elevado estado termodinámico de los gases tras la combustión, que empujan al pistón, produciendo un trabajo.

Renovación de la carga.- Este proceso se sustituye por una cesión de calor a volumen constante, donde la temperatura de los gases es de 550 a 750°C.

1.2.2.2 Operación de una Planta Diésel

El motor desarrolla parámetros propios que son: velocidad del pistón, relación aire-combustible, relación de compresión, presión del aire de entrada y temperatura. Los cuales denotan la potencia y eficiencia del mismo.

Existen dos condiciones bajo las cuales los motores de combustión interna son operados:

- velocidad constante con carga variable
- carga variable con velocidad variable.

La primera respectivamente se encuentra en un generador de corriente alterna como accionamiento, y la segunda en automóviles, ferrocarriles, tractores, etc. Se realiza una serie de pruebas para determinar sus características como: potencia indicada, potencia al freno, potencia friccional, eficiencia mecánica, eficiencia térmica, consumo específico de combustible. Y observar valores como: la presión media efectiva, la potencia indicada en HP, la potencia al freno, más las antes mencionadas.

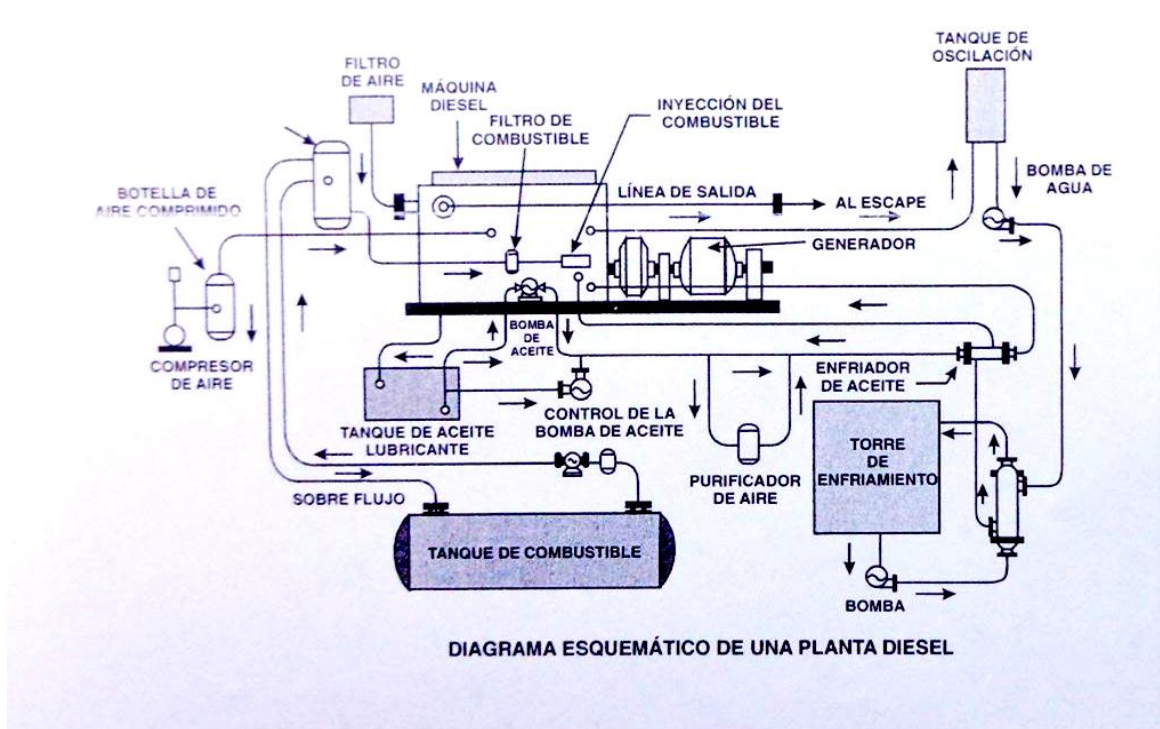


Figura 1.5 Diagrama Esquemático de una Planta Diésel.

Fuente: Enríquez Harper Gilberto, *Tecnologías de generación de energía eléctrica, México, Limusa, 2011.*

1.3 Centrales de Gas de Ciclo Abierto

Este tipo de central está conformada por una turbina diseñada para transformar la combustión de un gas a alta presión en el movimiento de un eje unido al rotor del generador, obteniendo así generación de energía eléctrica [15].

En los últimos años, las turbinas de gas han tenido un importante desarrollo, mejorando sus condiciones de operación, lo que ha dado lugar al aumento en la potencia y en el rendimiento. Hasta el final de los años 60s, estas fueron exclusivamente para la industria de la aviación, durante la década de los 70s y 80s arrancaron como unidades de generación en el pico de la demanda o como plantas de respaldo debido a su facilidad para arranque rápido [7]. En la actualidad tienen potencias que se encuentran entre 240 y 330 MW para redes eléctricas de 50 Hz (Europa). Con un rendimiento entre 38,3% y 39,3%.

1.3.1 Gas Natural

A principios del siglo XXI en las centrales eléctricas surgió el cambio del carbón y el petróleo a gas natural, como parte de la globalización de la economía mundial, reflejado en estadísticas de producción y consumo del mismo. De acuerdo con cifras del Consejo Mundial de Energía, el consumo de gas natural aumentó de 1996 a 2000 en un 4.1%. En China, el año 1999 se incrementó en 10.9%. La región Asia-Pacífico, el incremento en el consumo fue de 6.5% en el mismo año.

El consumidor más importante de gas natural es los Estados Unidos, seguido por Rusia, Alemania, y Canadá. Los dos primeros respectivamente han sido los principales productores. En Europa se espera un incremento notable en el consumo para el año 2020. Mas no toda la producción es quemada en las plantas eléctricas, solo alcanza un 20%. La industria del gas fomenta la idea de que es un combustible limpio, pero sus críticos lo ubican como un paso intermedio en la transición hacia los biocombustibles o la generación limpia para un futuro sustentable con fuentes renovables, y el gas no es renovable. Las turbinas de gas se pueden instalar rápidamente y producen un bajo nivel de contaminación [7].

Las reservas de gas natural en 2009 ascienden a 187.190 billones de metros cúbicos, lo que supone que manteniendo el ritmo de producción de dicho año, las reservas se consumirán en 62,8 años. El desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido descubrir yacimientos de gas natural situados a mayor profundidad que los ya descubiertos, por esta razón no es conocida la cantidad exacta de las reservas. Como referencia al descubrimiento de nuevos yacimientos se tiene que en 1980 las reservas de gas se estimaban en 70.000 billones de metros cúbicos.

En la figura 1.6 se muestra la localización de las reservas. El país con más reservas es la Federación Rusa con un 23,7%, seguido de Irán y Qatar con un 15,8% y un 13,5%, respectivamente [18].

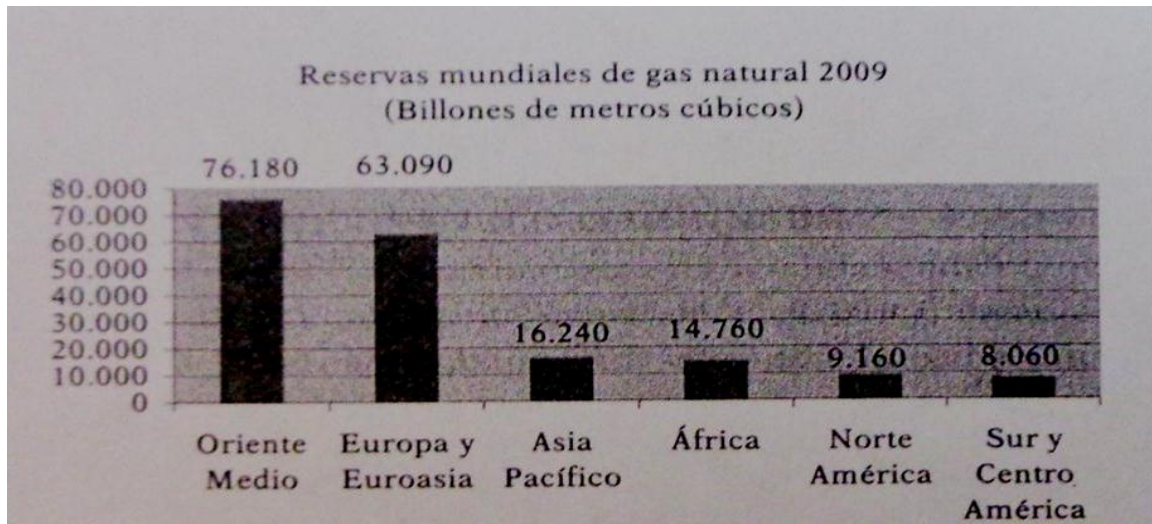


Figura 1.6 Reservas de gas natural.

Fuente: Sánchez Naranjo Consuelo, *Tecnología de las centrales termoeléctricas convencionales*, Madrid, Universidad Nacional de Educación a distancia, octubre 2010.

1.3.2 El Ciclo Brayton

El ciclo Brayton se usa para describir el funcionamiento del motor de turbina de gas, que entre sus aplicaciones se usa para generación de electricidad, sea como unidad de reserva para proveer energía eléctrica en forma momentánea, o como generador eléctrico continuo.

El ciclo se define por cuatro procesos reversibles:

1-2 Compresión adiabática del estado 1 al estado 2.

2-3 Adición de calor a presión constante.

3-4 Expansión adiabática.

4-1 Rechazo de calor a presión constante para llegar al estado 1.

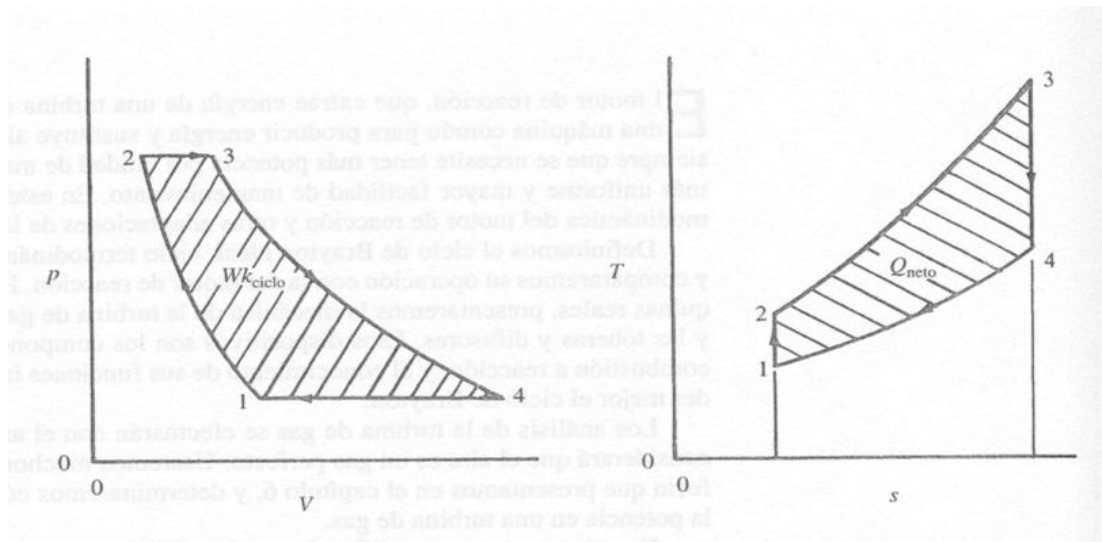


Figura 1.7 Diagramas P-V y T-s para el ciclo Brayton.

Fuente: Cengel Yunus A., *Termodinámica, México, McGraw Hill, 2012.*

El paso 1-2 representa a la compresión adiabática del aire que se realiza en el compresor axial.

El paso 2-3 representa el proceso de combustión a presión constante donde se produce el aporte de calor del medio al sistema debido a la oxidación del combustible inyectado en el punto 2.

El paso 3-4 representa la expansión adiabática de los gases de combustión que se desarrolla en la turbina.

El paso 4-1 se representa para cerrar el ciclo, en realidad el ciclo Brayton es abierto.

1.3.3 Turbina de gas

En el año 1873 George Brayton (1830 – 1892) explico el principio de funcionamiento del ciclo que lleva su nombre que originalmente se desarrolló empleando una máquina de pistones con inyección de combustible, para luego realizarlo como ciclo abierto simple llamado turbina a gas. En este ciclo termodinámico, en realidad el fluido de trabajo no realiza un ciclo completo dado que el fluido que ingresa es aire y el que sale son gases de combustión, es decir en un estado diferente al que se tenía cuando se inició

el proceso, por eso se dice que es un ciclo abierto. Es una máquina que libera la energía contenida dentro de un fluido, sea esta energía cinética de movimiento o energía potencial de un gas bajo presión, para generar un movimiento rotatorio.

Una turbina simple de gas de ciclo abierto consiste de un compresor, una cámara de combustión y una turbina.

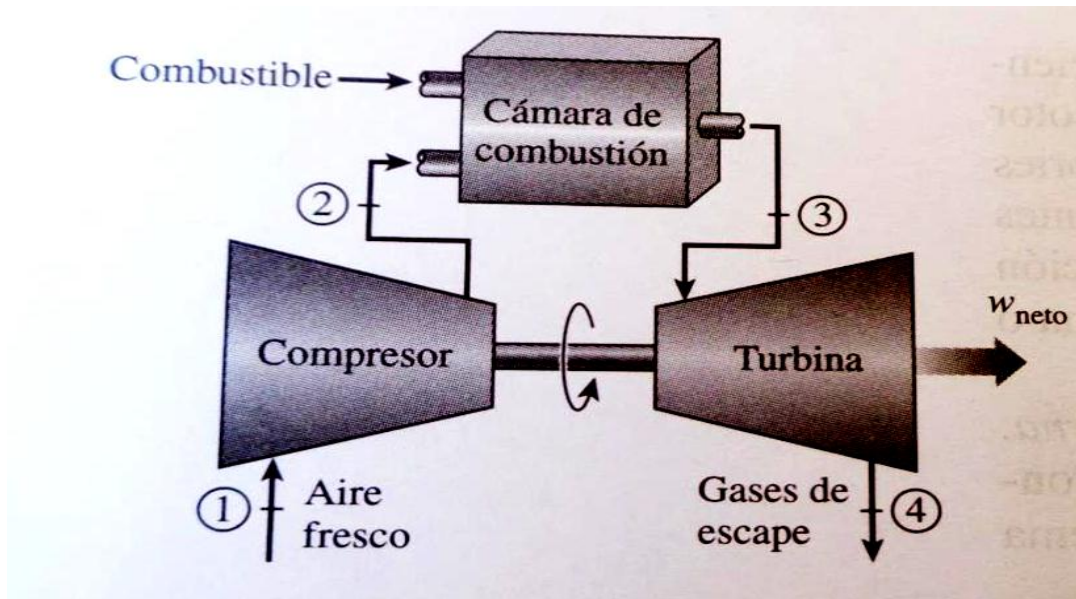


Figura 1.8 Motor de turbina de gas de ciclo abierto.

Fuente: Cengel Yunus A., *Termodinámica, México, Mcgraw Hill, 2012.*

1.3.3.1 Compresor de aire

El compresor toma aire del medio ambiente, pasando previamente por los filtros, y comprimiéndolo con unas relaciones de compresión de 14 a 32 bares. En las turbinas a gas los compresores utilizados son de tipo giratorio, siendo los más utilizados los siguientes: el tipo centrífugo y el tipo axial.

El compresor centrífugo consiste de un impulsor (elemento rotatorio) y un difusor (elemento estacionario). El impulsor reparte la alta energía cinética al aire y el difusor convierte la energía cinética en la energía de presión. Se fabrican según la relación de presión requerida en uno o tres pasos.

El flujo del aire en el compresor axial es paralelo al eje. El rotor está formado por varias ruedas móviles donde los alabes están montados en discos. Estas están ensambladas entre sí mediante tornillos guías axiales que permiten el apriete correspondiente, formando el rotor del compresor axial. En cada estado móvil del rotor se ubica un estado fijo del estator, en dirección del eje del compresor se suceden alternativamente en estado fijo y un móvil, conformando de esta manera el conjunto axial.

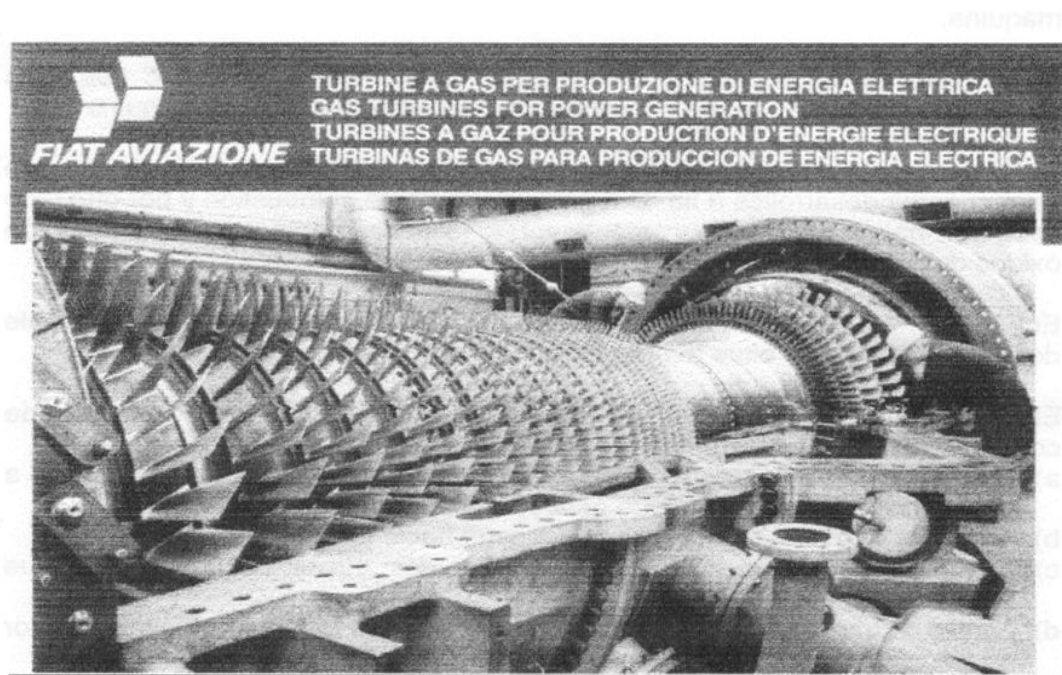


Figura 1.9 *Compresor tipo axial*

Fuente: *Enríquez Harper Gilberto, Tecnologías de generación de energía eléctrica, México, Limusa, 2011.*

La compresión del aire se produce al pasar éste a través de un estado fijo y uno móvil, por lo tanto el compresor está formado por un gran número de escalonamientos de compresión. Se clasifican en:

- Compresores axiales de acción
- Compresores axiales de reacción.

1.3.3.2 Cámara de Combustión

La cámara de combustión de la turbina a gas ha sido objeto de permanente desarrollo a fin de lograr una eficiente combustión y por otro lado asegurar bajas emisiones contaminantes, especialmente en contenidos de óxidos de nitrógeno (NO y NO₂).

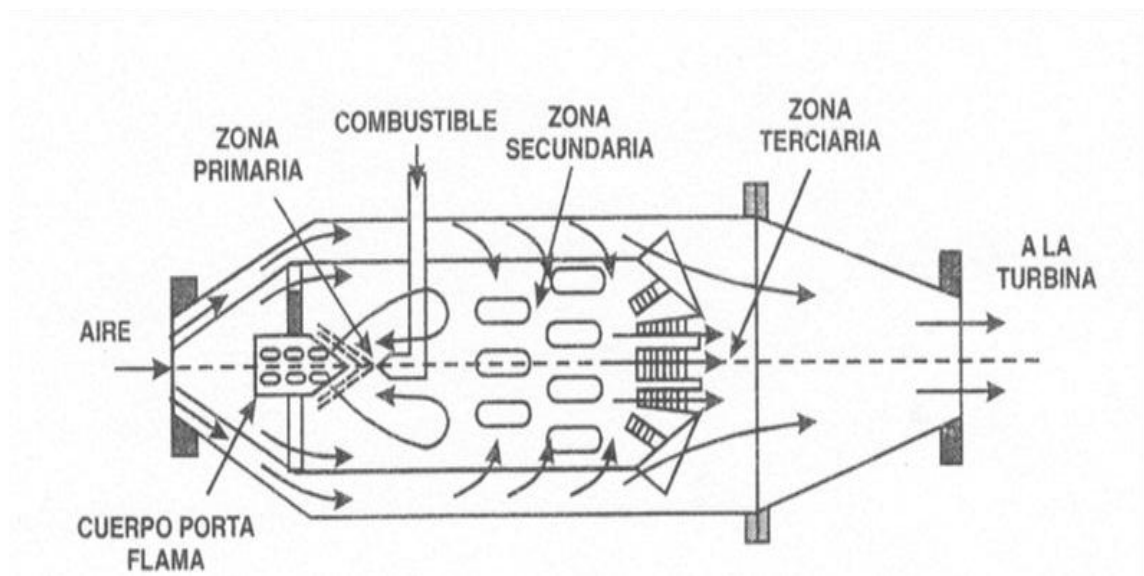


Figura 1.10 Cámara de Combustión hacia arriba.

Fuente: Enríquez Harper Gilberto, *Tecnologías de generación de energía eléctrica, México, Limusa, 2011.*

En la cámara de combustión se produce la oxidación del combustible desarrollándose muy altas temperaturas. En donde el aire realiza dos funciones importantes: suministra el oxidante necesario para la combustión del combustible y sirve como un refrigerante para mantener la temperatura de diversos componentes dentro de límites seguros. La segunda función se realiza al extraer más aire del necesario para la combustión completa del combustible [4].

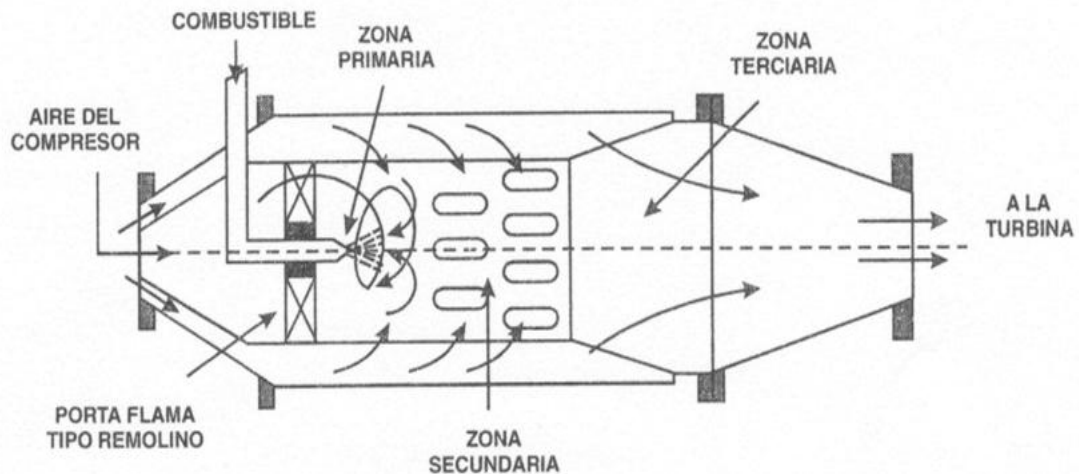


Figura 1.11 Cámara de combustión hacia abajo y porta flama.

Fuente: Enríquez Harper Gilberto, Tecnologías de generación de energía eléctrica, México, Limusa, 2011.

Entre las funciones que debe obtenerse en la cámara de combustión podemos mencionar:

- Estabilizar la llama dentro de una corriente de gases que se encuentran a alta velocidad, de manera que ésta se mantenga estable.
- Asegurar una corriente de gases continua hacia la turbina.
- Mantener una temperatura constante de los gases de combustión que ingresan a la misma.
- Lograr la máxima eficiencia de combustión, es decir producir la menor cantidad de inquemados: CO; CH y MP (material particulado u hollín).
- La caída de presión entre el compresor axial y la turbina.

El sistema de combustión provisto en las turbinas a gas puede ser de dos tipos:

- Turbinas a gas monocámara
- Turbinas a gas multicámaras.

Las turbinas con diseño mono cámaras, como es el caso del fabricante Asea Brown Boveri (ABB), la cámara se ubica en posición perpendicular al eje de la máquina.

En el caso de las turbinas multicámaras, diseño General Electric (GE), las cámaras se ubican en forma concéntricas (paralelas) al eje de la máquina.

El sistema de combustión está formado por:

- Bujías de encendido.
- Tubos pasa llama.
- Detectores de llama.

Normalmente se instalan dos bujías y dos detectores de llama.

En el caso de turbinas a gas multicámaras el encendido se produce en una de las cámaras de combustión creando un aumento de presión dentro de ella, forzando a los gases calientes que se producen a pasar a través de los tubos pasa llama al resto de las cámaras, propagando de esta manera la ignición en todas ellas en un tiempo no mayor a 2 segundos.

Los detectores de llama, ubicados diametralmente opuestos a las bujías, constituyen el sistema de detección de llama, emitiendo una señal de control cuando el proceso de ignición ha sido completado.

1.3.3.3 Turbina de Gas

La turbina es la máquina que produce trabajo. En ella el gas se expande, en donde la energía que se le extrae al fluido es la que se puede transformar en par motor en el eje de la propia máquina. Hay que tener presente que parte del trabajo que realiza la turbina se utiliza para accionar el compresor (alrededor de un 60%), y el resto se utiliza para accionar el generador eléctrico.

Las turbinas de gas pequeñas con potencias de salida de 35 – 35 MW pueden lograr eficiencias en la conversión de energía de hasta 38% en las aplicaciones para generación de potencia eléctrica. Las turbinas de gas grandes tienen potencias de salida del orden de 265MW, se usan como de carga base en aplicaciones con ciclos combinados.

El material con que están contruidos los álabes de las turbinas son muy variados y sobre ellos se han hecho muchas investigaciones a fin de determinar la composición más adecuada que permita resistir muy altas temperaturas; la corrosión; la fatiga termo

mecánica; al escurrimiento molecular que se produce por acción de los esfuerzos centrífugos y las altas temperaturas.

Generalmente se construyen en aceros ferríticos aleados con manganeso, cromo, níquel, molibdeno, titanio y cobalto, en distintas proporciones según sus fabricantes. También se han empleado con gran éxito álabes construidos en porcelana, con lo cual las temperaturas de trabajo han alcanzado valores superiores a los 1600°C con el consiguiente incremento en el rendimiento térmico de la máquina.

1.4 Características físicas del diésel para generación de electricidad

El diésel No.2 es obtenido en las refinerías a partir del petróleo por medio de una operación llamada destilación, el cual es separado en diferentes fracciones de acuerdo a su temperatura de ebullición y peso molecular. Este combustible se obtiene en un rango de temperatura entre 215°C a 330°C.

Es utilizado para uso industrial y para motores de combustión interna que son empleados en las Centrales Termoeléctricas en la generación de electricidad. En la figura se indica los requisitos que debe cumplir [7].

REQUISITOS	UNIDAD	Mínimo	Máximo	Método de ensayo
Punto de inflamación	°C	51	-	NTE INEN 1493 Procedimiento A
Contenido de agua y sedimento	%	-	0,05	NTE INEN 1494
Contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	%	-	0,15	NTE INEN 1491
Contenido de cenizas	%	-	0,01	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	°C	-	360	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática	mm ² /s	2,0	5,0	NTE INEN 810
Corrosión a la lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	-	45	-	NTE INEN 1495
Contenido de biodiésel	%	--	5	EN14078
Contenido de azufre	%	-	0,7	ASTM D4294 NTE INEN 1490

Tabla 1.1 Requisitos del diésel No. 2.

Fuente: Valencia B. Lyanne S., *Caracterización de mezclas diésel-biodiésel orientadas a disminuir las emisiones contaminantes provocadas por fuentes móviles*, Quito, 2013.

CAPITULO II

BIOCOMBUSTIBLES

En esta sección se abordarán las propiedades que tienen los aceites vegetales y grasas animales en la producción de los biocombustibles partir de su extracción de la materia prima que en nuestro medio es la palma africana y los requerimientos que debe poseer una planta de procesamiento para la producción de este combustible en nuestro país, respetando todas las normas de calidad locales.

2.1 Características físico-químicas del biodiesel

El biodiesel es un biocarburante líquido que se puede producir a través de aceites vegetales tales como la soja, el girasol, palma aceitera y otros, también a través de grasas animales. Su elaboración se basa en la reacción de esterificación y transesterificación de los glicéridos utilizando catalizadores. Desde el punto de vista químico los aceites vegetales son triglicéridos, tienen tres cadenas de ácidos grasos unidas a un alcohol, el glicerol. En la reacción de transesterificación, una molécula de triglicérido reacciona con tres moléculas de metanol o etanol para dar tres moléculas de monoésteres y un glicerol. Estos ésteres metílicos o etílicos (biodiésel) se mezclan con diésel convencional o se usa como combustible puro en cualquier motor diésel [20].

Las características fisicoquímicas del biodiesel son prácticamente las mismas que el diésel común de automoción con respecto a densidad y número de cetano (intervalo de encendido). Se puede mezclar con el diésel común en porcentajes bajos para luego ser usado sin necesidad de introducir modificación en los motores de los vehículos.

Las especificaciones ASTM, lo describen como ésteres mono alquílicos de ácidos grasos de cadena larga derivados de lípidos renovables tales como aceites vegetales o cebsos de animales, y que se emplean en motores de ignición de compresión.

Tabla 1. Norma astm para biodiésel D6751-09				
Propiedad	Límite		Unidad	Método de prueba
	Min	Max		
Punto de inflamación	93		°C	D 93
Control de alcohol Debe cumplir con una de las siguientes: 1. Contenido de metanol 2. Punto de inflamación	130	0,2	masa % °C	en 14110 D93
Agua y sedimento		0,050	% volumen	D2709
Número ácido		0,50	mg KOH / g	D664
Ceniza sulfatada		0,020	% masa	D874
Corrosión lámina de cobre		No. 3		D130
Residuo de carbono		0,050	% masa	D4530
Viscosidad cinemática	1,9	6,0	mm ² /s	D445
Número de cetano	47			D613
Punto de turbidez		Reporte	°C	D2500
Filtrabilidad de impregnado en frío		360	Segundos	Anexo A1
Estabilidad de oxidación	3		horas	en 14112
Glicerina libre		0,020	% masa	D6584
Glicerina total		0,240	% masa	D6584
Sodio y potasio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Calcio y magnesio, combinados		5	ppm (µg/g)	en 14538
Azufre*		0,0015 0,05	% masa (ppm)	D5453
Contenido de fósforo		0,001	% masa	D4951
Temperatura destilación, Temperatura atmosférica equivalente, 90% recuperado		360	°C	D1160

* Diferentes límites de azufre para S15 (15 ppm azufre) y S500 (500 ppm azufre combustible).

Tabla 2.1 Norma ASTM D6751-09.

Fuente: Normas ASTM. Disponible online en:

http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/D02E0_spnd08.html

2.1.1 Reseña histórica

La técnica de transesterificación en aceites vegetales fue desarrollada en 1853 por los británicos E. Duffy y J. Patrick con el principal objetivo de obtener glicerina y utilizarla como materia prima en la producción de jabón, varios años antes de que se hubiera

inventado el motor diésel. Esta técnica fue utilizada primordialmente para producir glicerina a partir de aceites de maní, marihuana y maíz; pero actualmente se utiliza para extraer tanto glicerina como biodiesel a partir de un gran cantidad de materias primas.

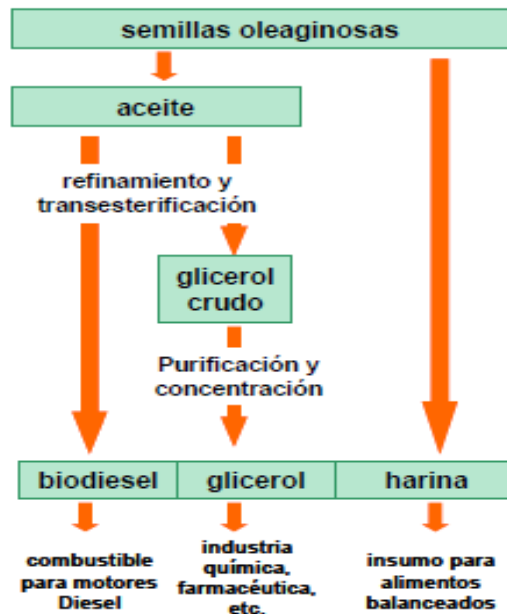


Figura 2.1 *Proceso biodiesel.*

Fuente: *García C. Juan Manuel, García L. José A., Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol, CEIM, Madrid, 2006.*

El aceite vegetal, que posee características para la impulsión de motores se conoce desde la creación del motor diésel, que se basó en los trabajos del científico alemán Rudolf Diésel, quien lo utilizó por primera vez en su motor de combustión interna, el cual usaba aceite de maní como combustible. Este trabajo fue presentado en la Feria Internacional de París en el año 1900. Hasta principios del siglo XX los motores automotrices, utilizaban dos tipos de combustible, los derivados del petróleo y biocombustibles, pero en 1920 se impulsó a nivel internacional la penalización de la marihuana (principal materia prima de los biocombustibles por su bajo costo), lo que favoreció la explotación y comercialización de los derivados del petróleo y la tecnología que los ocupa, en este caso el motor diésel.

Lo que actualmente se conoce como biodiesel fue utilizado por primera vez en motores automotrices en Europa durante la segunda guerra mundial ante la escasez de derivados del petróleo durante ese período. Más a finales de la década de los años 70 y principios de los 80 debido a la preocupación por los altos precios del petróleo promovió una

amplia experimentación de la técnica de obtención de biodiesel de una gran variedad de aceites vegetales y grasas animales en la búsqueda de fuentes de energía alternativas.

Las primeras pruebas técnicas a nivel mundial se realizaron en 1982 en Austria y Alemania, pero solo hasta el año de 1985 en Silberberg (Austria), se construyó la primera planta piloto productora de biodiesel a partir de semilla de colza.

2.1.2 Materias Primas

Las materias primas más utilizadas a nivel mundial son los aceites vegetales obtenidos de plantas oleaginosas, y pueden clasificarse en;

Aceites vegetales convencionales:

- Aceite de girasol
- Aceite de colza
- Aceite de soja
- Aceite de coco
- Aceite de palma

Aceite vegetales alternativos:

- Aceite de Brassicacarinata
- Aceite de Cynaracurcundunculus
- Aceite de Camelina sativa
- Aceite de Crambeabyssinica
- Aceite de Pogianus
- Aceite de Jatropha curcas

Aceites de semillas modificadas genéticamente

- Aceite de girasol de alto oleico

Grasas animales

- Sebo de vaca
- Sebo de búfalo

Aceites de frituras usados

- Aceites de otras fuentes
- Aceites de producciones microbianas
- Aceites de micro algas

2.1.2.1 Aceites vegetales convencionales

Las materias primas utilizadas convencionalmente en la producción de biodiesel han sido los aceites de semillas oleaginosas como el girasol y la colza (Europa), la soja (Estados Unidos) y el coco (Filipinas); y los aceites de frutos oleaginosos como la palma (Malasia e Indonesia). Por razones climatológicas, la colza (*Brassicanapus*) se produce principalmente en el norte de Europa y el girasol (*Helianthusannuus*) en los países mediterráneos del sur, como España o Italia [20] .

La utilización de estos aceites para producir biodiesel en Europa ha estado asociada a las regulaciones de retirada obligatoria de tierras de la Política Agraria Común (PAC) que permite el cultivo de semillas oleaginosas a precios razonables.

Sin embargo, la dedicación de sólo las tierras de retirada para la producción de materias primas energéticas supone un riesgo por cuanto estas superficies varían en el tiempo, ya que el régimen de retirada de tierras depende de la oferta y la demanda de cereales alimentarios, lo que implica que este índice está sujeto a alteraciones [18].

2.1.2.2 Aceites vegetales alternativos

Además de los aceites vegetales convencionales, existen otras especies más adaptadas a las condiciones del país donde se desarrollan y mejor posicionadas en el ámbito de los cultivos energéticos.

En este sentido, destacan la utilización, como materias primas de la producción de biodiesel, de los aceites de Camelina sativa, Crambe abyssinica y Jatropha curcas (Piñon). Existen otros cultivos que se adaptan mejor a las condiciones de los países con zonas tropicales y que presentan rendimientos de producción mayores.

Se trata de los cultivos de Brassica carinata y Cynara cardunculus. La Brassica carinata es una alternativa real al secano y regadío extensivo. La Cynara cardunculus es un cultivo plurianual y permanente, de unos diez años de ocupación del terreno, y orientado fundamentalmente a la producción de biomasa, aunque también pueden aprovecharse sus semillas para la obtención de aceite. Se obtienen de 2.000 a 3.000 kilogramos de semillas, cuyo aceite sirve de materia prima para la fabricación de biodiesel [20].

2.1.2.3 Aceites vegetales modificados genéticamente

Los aceites y las grasas se diferencian principalmente en su contenido en ácidos grasos. Los aceites con proporciones altas de ácidos grasos insaturados, como el aceite de girasol o de Camelina sativa, mejoran la operatividad del biodiesel a bajas temperaturas, pero disminuyen su estabilidad a la oxidación, que se traduce en un índice de yodo elevado.

Por este motivo, se pueden tener en consideración, como materias primas para producir biodiesel, los aceites con elevado contenido en insaturaciones, que han sido modificados genéticamente para reducir esta proporción, como el aceite de girasol de alto oleico.

2.1.2.4 Aceites de fritura usados

El aceite de fritura usado es una de las alternativas con mejores perspectivas en la producción de biodiesel, ya que es la materia prima más barata, y con su utilización se evitan los costes de tratamiento como residuo.

En los países donde se consume aceites vegetales se concentra el consumo en aceite de oliva y girasol. Por su parte, los aceites usados presentan un bajo nivel de reutilización, por lo que no sufren grandes alteraciones y muestran una buena aptitud para su

aprovechamiento como biocombustible. La producción de los aceites usados en Europa se sitúa en torno a las 750.000 toneladas/año, según cifras del 2004.

Además, como valor añadido, la utilización de aceites usados significa la buena gestión y uso del residuo, el informe sobre el marco regulatorio de los carburantes propone reciclar aceite de fritura en biodiesel, este aceite da problemas al depurar el agua; sin embargo, su recogida es problemática.

La Comisión Europea propone que el Ministerio de Medio Ambiente y los Ayuntamientos creen un sistema de recogida de aceite frito, oleínas y grasas en tres etapas: industrial, hostelería y doméstica, con especial atención a su control y trazabilidad debido a su carácter de residuo. En el caso español, dicha recogida no está siendo promovida enérgicamente por la Administración pese a que la Ley 10/98 de Residuos establece la prohibición de verter aceites usados, lo cual es un incentivo más para su utilización en la fabricación de biodiesel [24].

2.1.2.5 Grasas animales

Además de los aceites vegetales y los aceites de fritura usados, las grasas animales, y más concretamente el sebo de vaca, pueden utilizarse como materia prima de la transesterificación para obtener biodiesel.

El sebo tiene diferentes grados de calidad respecto a su utilización en la alimentación, empleándose los de peor calidad en la formulación de los alimentos de animales. La aplicación de grasas animales surgió a raíz de la prohibición de su utilización en la producción de piensos, como salida para los mismos como subproducto [20].

2.1.2.6. Aceites de otras fuentes

Por otra parte, es interesante señalar la producción de lípidos de composiciones similares a los aceites vegetales, mediante procesos microbianos, a partir de algas, bacterias y hongos, así como a partir de microalgas.

2.1.3 Proceso químico

El proceso químico utilizado como proceso industrial para la obtención de biodiesel es la transesterificación (alcoholólisis).

Consiste en la reacción de moléculas de triglicéridos, donde el número de átomos de las cadenas está comprendido entre 15 y 23, siendo el más habitual de 18, con alcoholes de bajo peso molecular (metanol, etanol, propanol, butanol) para producir ésteres y glicerina[9].

La reacción de transesterificación que se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3 a 1, reaccionando en la metanólisis 1 mol de triglicérido con 3 moles de alcohol; aunque se añade una cantidad adicional de alcohol para desplazar la reacción hacia la formación del éster metílico.

El triglicérido es el principal componente del aceite vegetal o la grasa animal. Asimismo, la formación de la base de glicerina, juega un papel importante en el desplazamiento de la reacción, en donde se puede alcanzar conversiones de hasta el 100%. Este triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina, en cada una de estas reacciones un mol de éster metílico es liberado.

La reacción de transesterificación utiliza un catalizador para mejorar la velocidad de reacción y el rendimiento final.

Los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos (H_2SO_4), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas), básicos heterogéneos (MgO), básicos homogéneos (KOH, NaOH) o enzimáticos (Lipasas: *Cándida*, *Penicillium*, *Pseudomonas*), a escala comercial se utiliza los catalizadores homogéneos básicos ya que actúan mucho más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas.

Cuando se utiliza un catalizador ácido se requieren condiciones de temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos, por eso se utiliza derivados de ácidos más activos [10].

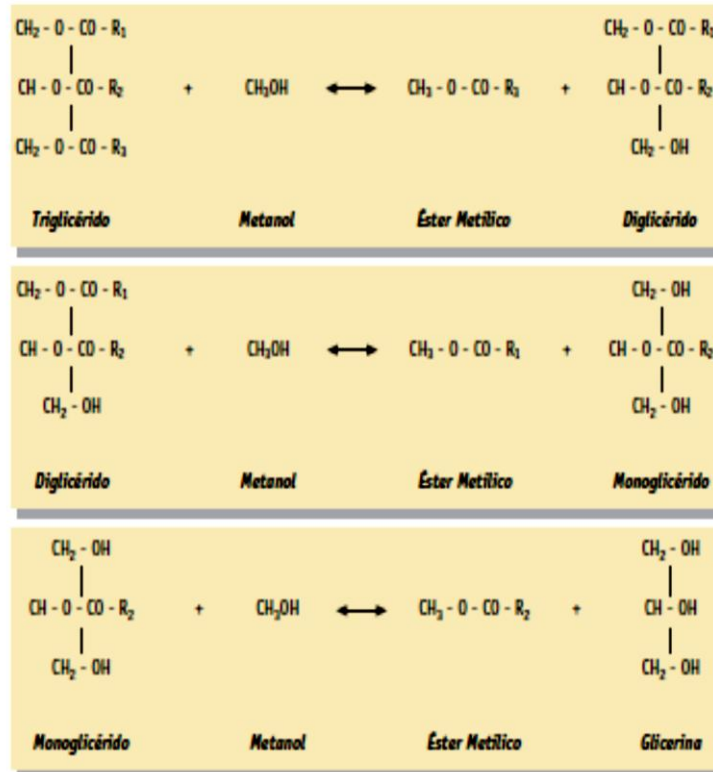


Figura2.2 Reacciones implicadas en la transesterificación.

Fuente: García C. Juan Manuel, García L. José A., *Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol*, CEIM, Madrid, 2006.

2.1.4 Esterificación de ácidos grasos

La esterificación se aplica combinándola con la transesterificación de cara a aprovechar el subproducto de ácidos grasos y producir igualmente biodiesel.

El proceso más común para obtener ésteres es el calentamiento de una mezcla de alcohol y del ácido correspondiente con ácido sulfúrico, utilizando el reactivo más económico en exceso para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio (esterificación de Fischer).

El ácido sulfúrico sirve en este caso como catalizador y también de sustancia higroscópica que absorbe el agua formada en la reacción. En algunos casos es sustituido por ácido fosfórico concentrado.

En la práctica este procedimiento tiene inconvenientes. El alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, formación de éter y decarboxilación. Los catalizadores para este tipo de reacción, son ácidos o enzimáticos. En este caso no es necesario trabajar con temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos [24].

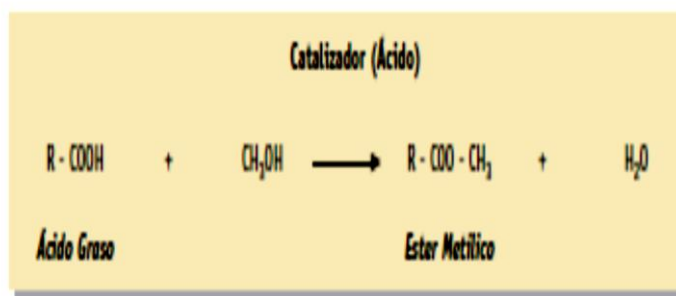


Figura 2.3 Reacción de esterificación.

Fuente: *García C. Juan Manuel, García L. José A., Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol, CEIM, Madrid, 2006.*

2.1.5 Los catalizadores

En el caso de la transesterificación los catalizadores pueden ser ácidos homogéneos, ácidos heterogéneos, básicos homogéneos o enzimáticos. Los más utilizados a nivel industrial son los básicos, ya que actúan más rápido y además permiten operar en condiciones moderadas. Por otra parte, los triglicéridos deben tener una baja proporción de ácidos grasos libres para evitar que se neutralice con el catalizador y se forme jabones [16].

Los catalizadores sulfúricos y sulfónicos producen rendimientos muy altos y reacciones muy lentas en ésteres alquílicos, necesitando temperaturas superiores a los 100°C y más de 3 horas para completar la conversión. La acidificación del grupo carbonil del éster conduce a la carbonatación.



Figura 2.4 Ventajas e inconvenientes de los catalizadores utilizados en la transesterificación

Fuente: García C. Juan Manuel, García L. José A., *Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol*, CEIM, Madrid, 2006.

2.2 Infraestructura para producción de biodiesel

El proceso industrial utilizado en la producción de biodiesel consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. La transformación del triglicérido en diglicérido, monoglicérido y glicerina consecutivamente tiene lugar en un reactor donde se producen las reacciones y en posteriores fases de separación purificación y estabilización.

2.2.1 Proceso Discontinuo

Es el método más simple para la producción de biodiesel donde se han reportado ratios 4:1 (alcohol: triglicérido). Se trata de reactores con agitación, donde el reactor puede estar sellado o equipado con un condensador de reflujo. Las condiciones de operación más habituales son a temperaturas de 65°C, aunque rangos de temperaturas desde 25°C a 85°C también han sido publicadas.

El catalizador más común es el NaOH. Es necesaria una agitación rápida para una correcta mezcla en el reactor del aceite, el catalizador y el alcohol. Hacia el fin de la reacción, la agitación debe ser menor para permitir al glicerol separarse de la fase éster. Se han publicado en la bibliografía resultados entre el 85% y el 94% [20].

En la transesterificación, cuando se utilizan catalizadores ácidos se requiere temperaturas elevadas y tiempos largos de reacción. Algunas plantas en operación utilizan reacciones en dos etapas, con la eliminación del glicerol entre ellas, para aumentar el rendimiento final hasta porcentajes superiores al 95%.

Temperaturas mayores y ratios superiores de alcohol:aceite pueden asimismo aumentar el rendimiento de la reacción. El tiempo de reacción suele ser entre 20 minutos y una hora. En la figura 2.6 se reproduce un diagrama de bloques de un proceso de transesterificación en discontinuo.

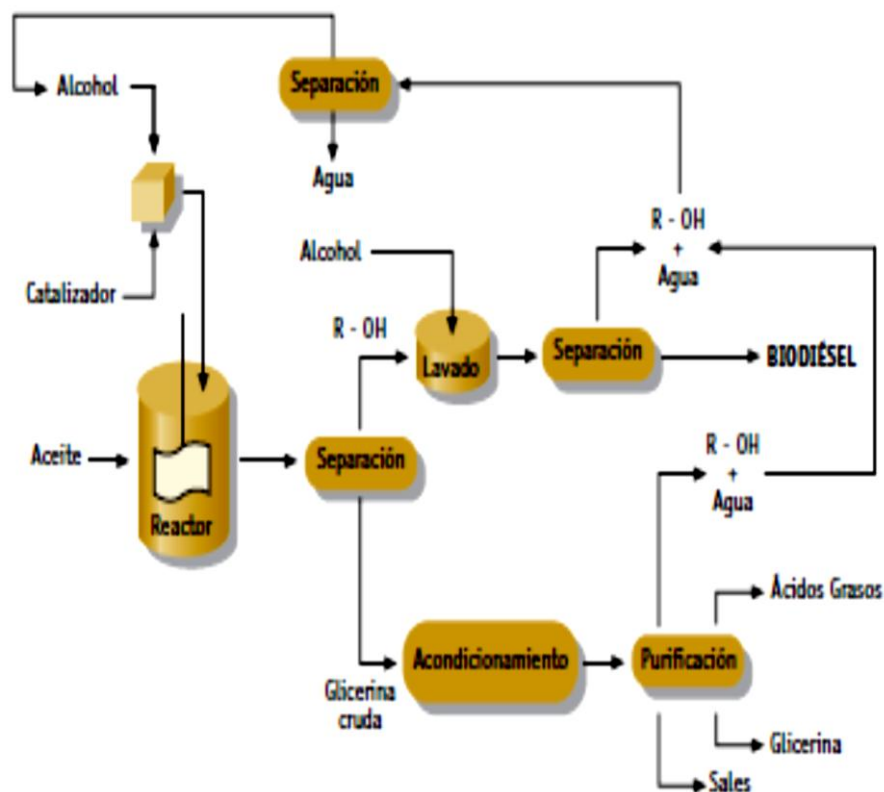


Figura 2.5 Proceso de transesterificación.

Fuente: Biocombustibles. Disponible (online) en:

<http://www.lycos.es/biodiesel/hoobies4.html>

2.2.2 Proceso Continuo

Una variación del proceso discontinuo es la utilización de reactores continuos del tipo tanque agitado, los llamados CSTR del inglés, Continuous Stirred Tank Reactor. Este tipo de reactores puede ser variado en volumen para permitir mayores tiempos de residencia y lograr aumentar los resultados de la reacción. Así, tras la decantación de glicerol en el decantador la reacción en un segundo CSTR es mucho más rápida, con un porcentaje del 98% de producto de reacción.

El resultado es que el tiempo requerido para la separación de fases se incrementa. Existen diversos procesos que utilizan la mezcla intensa para favorecer la reacción de esterificación. El reactor que se utiliza en este caso es de tipo tubular. La mezcla de reacción se mueve longitudinalmente por este tipo de reactores, con poca mezcla en la dirección axial.

El resultado es un sistema en continuo que requiere tiempos de residencia menores (del orden de 6 a 10 minutos) con el consiguiente ahorro, al ser los reactores menores para la realización de la reacción. Este tipo de reactor puede operar a elevada temperatura y presión para aumentar el porcentaje de conversión.

Dentro de la catálisis heterogénea los catalizadores básicos se desactivan fácilmente por la presencia de ácidos grasos libres (FFA) y de agua que favorece la formación de los mismos. Para tratar alimentaciones con cierto grado de acidez, se prefiere la esterificación de los ácidos grasos libres con superácidos que a su vez presenten una elevada velocidad de reacción de transesterificación, lo que implica que se requiera de dos reactores con una fase intermedia de eliminación de agua.

De este modo, alimentaciones con hasta un 30% en FFA se pueden esterificar con metanol, reduciendo la presencia de FFA por debajo del 1%. Esta etapa previa de esterificación se puede llevar a cabo con alcoholes superiores o glicerina que resulta atractiva en la producción de biodiesel puesto que es un subproducto del proceso.

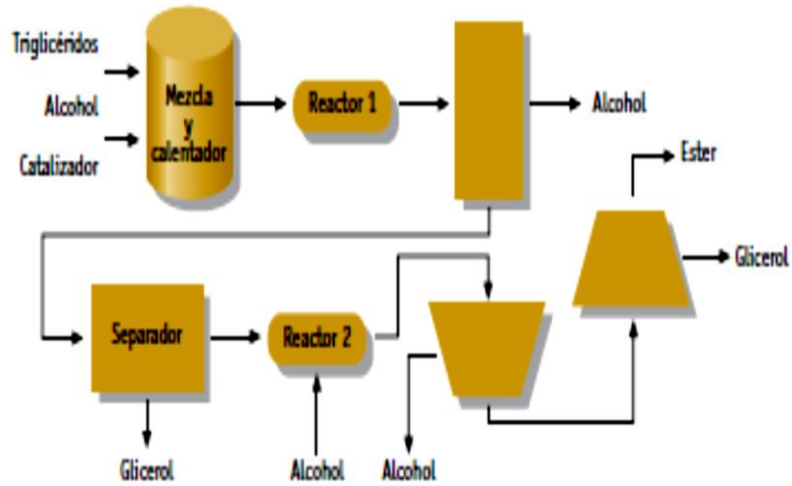


Figura 2.6 Proceso de producción de biodiesel mediante reactores de flujo pistón.

Fuente: Biocombustibles. Disponible (online) en:

<http://www.lycos.es/biodiésel/hoobies4.html>

2.2.3 Proceso de esterificación

El más común consiste en el calentamiento de una mezcla del alcohol y del ácido correspondiente, para aumentar el rendimiento y desplazar el equilibrio hacia la derecha (esterificación de Fischer).

En este proceso el alcohol puede sufrir reacciones de eliminación formando olefinas, esterificación con el propio ácido sulfúrico o de formación del éter.

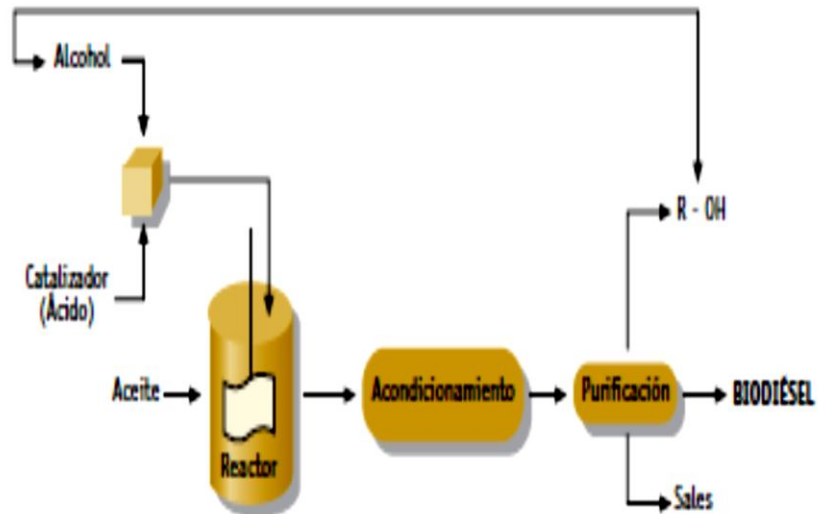


Figura 2.7 Proceso de esterificación.
Fuente: Biocombustibles. Disponible (online) en:
<http://www.lycos.es/biodiésel/hoobies4.html>

2.2.4 Proceso Combinado Esterificación-Transesterificación

Este tipo de procesos refina los ácidos grasos mediante un tratamiento diferenciado en la unidad de esterificación. Se añaden los catalizadores cáusticos y el producto de la reacción se separa mediante centrifugación.

Los aceites refinados son secados y enviados a la unidad de transesterificación para un proceso posterior. Los procesos de catálisis ácida pueden ser usados para la esterificación directa de los ácidos libres (FFA)

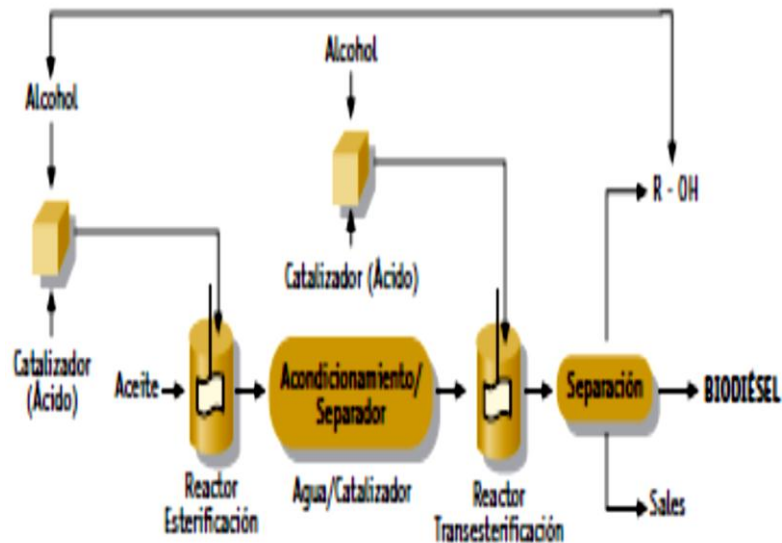


Figura 2.8 Proceso de producción de biodiésel mediante esterificación/transesterificación.
Fuente: Biocombustibles. Disponible (online) en:
<http://www.lycos.es/biodiésel/hoobies4.html>

2.2.5 Proceso en condiciones supercríticas

Cuando un fluido o gas es sometido a temperaturas y presiones que exceden su punto crítico, aparecen una serie de propiedades inusuales. Desaparece la diferencia entre la fase líquida y vapor, existiendo un solo fluido. Los disolventes que contienen grupos OH, como el agua o alcoholes primarios, toman las propiedades de superácidos.

Un ejemplo es el que utiliza un elevado rango de alcohol:aceite (42:1). Bajo condiciones supercríticas (350 a 400°C y $P > 80$ atm) la reacción se completa en 4 minutos. Los costos de instalación y operación son más altos y la energía consumida es mayor, por lo que los resultados son interesantes, la instalación a nivel industrial es difícil.

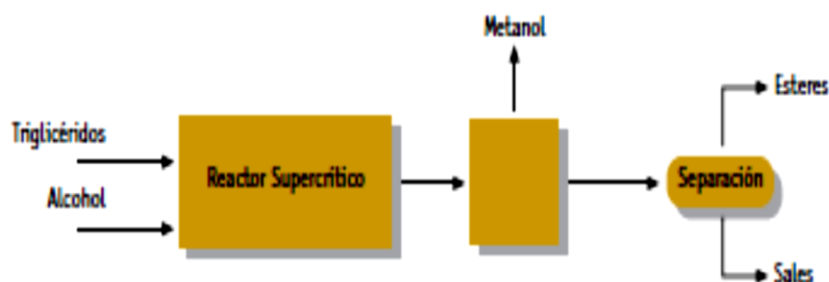


Figura 2.9 *Proceso de producción de biodiesel mediante proceso supercrítico.*

Fuente: *Biocombustibles. Disponible (online) en:*
<http://www.lycos.es/biodiésel/hoobies4.html>

2.3 Producción de biodiesel a partir de palma aceitera

La producción de biodiesel se realiza a partir de aceites vegetales como la palma, el cual se caracteriza por ser el cultivo de mayor productividad por hectárea/año. El excelente potencial de crecimiento de su cultivo en los principales productores a nivel mundial como Indonesia, Malasia, Tailandia, Nigeria y Colombia lo hacen competitivo en el mercado mundial y económicamente viable para la producción de este biocombustible [26].

2.3.1 Reseña Histórica

El aceite de palma se lo consume desde hace más de 5000 años y se obtiene de la fruta del árbol *Elaeis Guineensis* (Palma), el mismo que es originario de Guinea Occidental. Desde el siglo XV se introduce en otras partes de África, Sureste Asiático y Latinoamérica a lo largo de la zona Ecuatorial. En el Continente Americano las primeras plantaciones fueron realizadas en los años 40 [10].



Figura 2.10 *Aceite de Palma Africana Elaeis Guineensis.*

Fuente: *ANCUPA, Estadísticas Nacionales de Palma Africana, 2010*
Disponible on line en: www.ancupa.com.

2.3.2 Etapas de Proceso

El cultivo de palma aceitera es característico de climas tropicales. Se requiere mínimo de 1600 a 2000 mm de lluvia anual y también necesita mucha luz solar, con un promedio de alrededor de 5 horas diarias. Con estos datos a continuación se detalla el proceso.

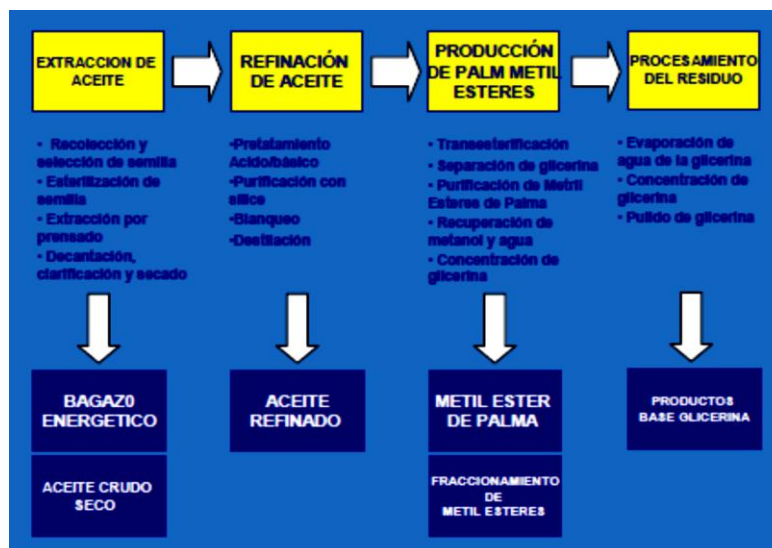


Figura 2.11 *Proceso de extracción de aceite.*

Fuente: LA FABRIL, "Biodiesel una perspectiva empresarial, Manta, 2012.

2.3.2.1 Parámetros críticos en la operación

Se va a describir los puntos críticos como son; seguridad, calidad, costos de operación y calidad en la operación de una planta de producción de biodiesel utilizando como materia prima aceite crudo de palma.

2.3.2.2 Seguridad

En este tipo de planta se usa una gran cantidad de líquidos inflamables, para lo cual se debe diseñar como área de ambiente peligroso, con áreas de riesgo interior y adyacente al edificio de proceso, como se define en la norma NFPA-497. Los tanques de metanol y catalizadores se deben diseñar de acuerdo con la norma NFPA-30.

Se requiere diseño eléctrico a prueba de explosión Special Class 1, División 1, Grupo D y Class 1, División 2, Grupo D según norma NFPA-70 Para minimizar una fuente de ignición [12].

2.3.2.3 Calidad

Todo el biodiesel que salga de la planta debe cumplir las especificaciones de ASTM (Tabla 2.1) y también cumplir con las especificaciones de punto de nube, punto de vertido, punto de cegado de filtro en frío y de color. El producto debe ser transportado en tanques limpios y libres de humedad y a una temperatura cumpliendo las especificaciones ASTM.

2.3.2.4 Costos de capital

Aproximadamente el 65% del costo del capital de una planta de biodiesel está en el edificio de proceso, y 35% en la infraestructura de apoyo.

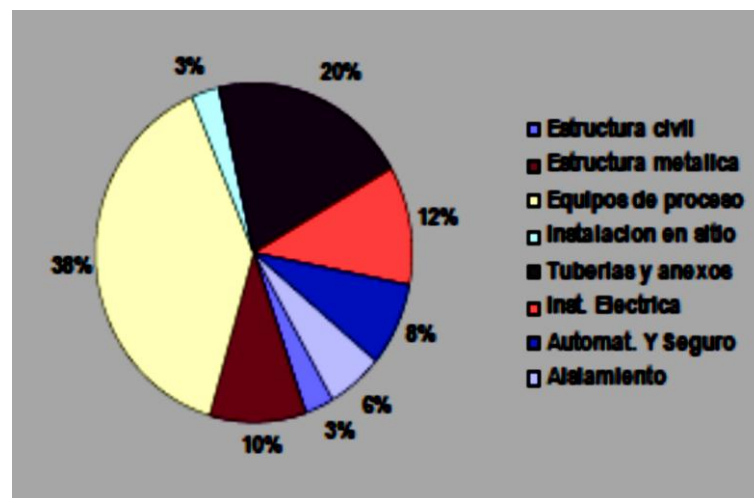


Figura 2.12 Instalación general.

Fuente: LA FABRIL, "Biodiésel una perspectiva empresarial, Manta, 2012.

2.3.2.5 Costos de operación

Alrededor del 85% de los costos de operación de una planta de biodiesel corresponden a adquisición de materia prima. El suministro de la misma con un buen precio y minimizar el costo de flete hasta la planta son factores críticos para controlar la rentabilidad.

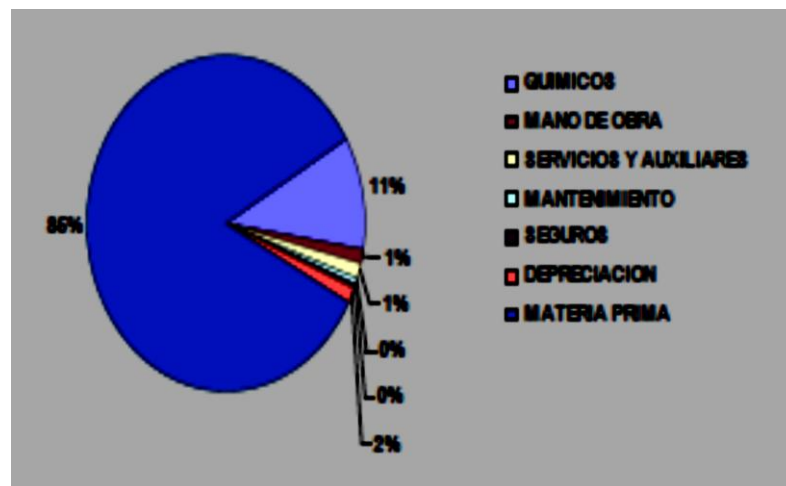


Figura 2.13 Costos operativos totales.

Fuente: LA FABRIL, "Biodiésel una perspectiva empresarial, Manta, 2012.

A continuación se presenta una figura con porcentajes que intervienen en el costo de biodiesel.

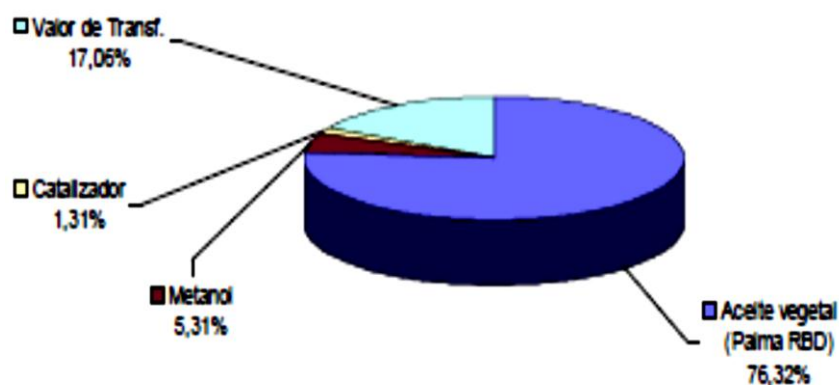


Figura 2.14 *Costos del Biodiesel.*

Fuente: LA FABRIL, “Biodiesel una perspectiva empresarial, Manta, 2012

2.4 Producción de Palma Aceitera en Ecuador

Para el año 2009 se proyectaba 370.000 hectáreas sembradas. La producción del sector palmicultor bordea los 200 millones, con una superficie sembrada de 287.000 hectáreas, de las cuales el 85% se encuentra en plena producción [12]. La industria nacional para el procesamiento de aceites muestra una excelente infraestructura con tecnología de punta para la extracción y refinación.

La cadena de producción de palma en nuestro país cuenta con gran experiencia, se cultiva desde la década de los sesenta con un alto nivel de organización. Las instituciones promueven la capacitación, transferencia de tecnología, investigación y promoción del cultivo a lo largo de la cadena. Su cultivo se destaca por la importancia social en el país. El Ecuador es uno de los mayores productores de Palma en Latinoamérica [10].



Figura 2.15 Localización geográfica de plantaciones y complejos energético e industrial.
Fuente: LA FABRIL, "Biodiesel una perspectiva empresarial, Manta, 2012

CAPITULO III

VIABILIDAD TÉCNICA

A continuación se analizará la compatibilidad físico-química del reemplazo diésel por biodiesel. Los porcentajes de esta sustitución deben referirse a la normativa vigente del organismo encargado de la normalización, que para el caso Ecuatoriano es el INEN; en el ámbito internacional se dispone de las normas ASTM (EE.UU.) y EN (Europa), que incluyen directrices respecto a las proporciones de mezcla.

También se analiza en esta sección el área de cultivo energético de palma aceitera requerida para dar viabilidad al Proyecto. Finalmente se examina el costo variable de producción de las centrales termoeléctricas que emplean combustible diésel operando con mezcla de biodiesel.

3.1 Compatibilidad físico-química del reemplazo

La determinación de la compatibilidad físico-química del biodiesel y del diésel está basada en las características que posee cada uno de estos combustibles, las cuales son muy similares. El biodiesel es un producto que se obtiene, por ejemplo, mediante la transesterificación de aceite vegetal de la palma aceitera (*Elaeis Guineensis*), objeto del presente estudio, lo que lo convierte en un combustible que proviene de fuentes renovables.

El diésel No 2 que es usado como combustible en algunas las centrales termoeléctricas es un derivado del petróleo, de origen fósil, una materia prima no renovable, y está compuesto aproximadamente de un 75% de hidrocarburos saturados(parafinas, iso parafinas y ciclo parafinas) y un 25% de hidrocarburos aromáticos(benceno) [20].

A continuación se presenta una tabla con las propiedades físico – químicas del biodiesel y del diésel, según las normas ASTM.

PROPIEDADES	BIODIESEL	DIÉSEL
Norma del combustible	ASTM D975	ASTM PS121
Motilaste	95.5 -> 98%(normas)	-
Carbono (% peso)	77	86.5
Azufre (% peso)	0 – 0.0024	0.05 máx.
Agua (ppm peso)	0.005% máx.	161
Oxígeno (% peso)	11	0
Hidrógeno (% peso)	12	13
No. Cetano	48 - 55	40 - 55
PCI (Kg/kg)	37,700	41,860
Viscosidad cinemática (40°C)	1.9 – 6.0	1.3 – 4.1
Punto de inflamación (°C)	100 - 170	60 - 80
Punto de ebullición	182 - 338	188 - 343
Gravedad específica (kg/l)(60°F)	0.88	0.85
Relación aire/combustible	13.8	15

Tabla 3.1 Comparación de propiedades del biodiesel y diésel.

Fuente: Valencia B. Lyanne S., *Caracterización de mezclas diésel-biodiésel orientadas a disminuir las emisiones contaminantes provocadas por fuentes móviles, Quito, 2013.*

De la tabla anterior se anota que la gravedad específica, la viscosidad tienen valores semejantes lo que los hace compatibles, y se puede mezclarlos en proporciones, para

utilizarlos sin mayores problemas en los motores de combustión interna, los cuales son empleados en generación de electricidad en las centrales termoeléctricas.

3.1.1 Número de Cetano [12]

El número de cetano es un indicador de los combustibles que mide la facilidad con que se produce la inflamación y la suavidad de combustión, después de que han sido inyectados al motor diésel. El diésel que se utiliza en las centrales termoeléctricas, requiere tener un número de cetano de 45 como mínimo [14].

En investigaciones desarrolladas se ha demostrado que un mayor número de cetano del biodiesel (generalmente entre 46 y 60, dependiendo de la materia prima utilizada) puede reducir el retraso a la ignición. Este factor junto con la menor volatilidad del biodiesel, contribuyen a mejorar las características de la combustión, con relación al diésel del petróleo. En tabla que se muestra a continuación podemos observar valores de cetano para diferentes tipos de biodiesel.

Tipo de biodiesel	Calor de combustión [Mj/kg]	Numero de cetano
Soya	39.8	48
Algodón	39.4	42
Ganado	39.4	51
Cerdo	-	65
Girasol	39.8	47
Cacahuate	-	54
Colza	40.1	-
Coco	-	68
Piñon	39.3	58
Palma	36.7	62

Tabla 3.2 Calor de combustión y número de cetano de diferente tipos de biodiesel.

Fuente: Gallo R. Waldry L., Aspectos medioambientales de la energía: energías renovables y biocombustibles, Brasil, Agencia Nacional de Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles, 2009.

Observando los valores de las tablas 3.1 y 3.2 en particular se observa el número de cetano de la Palma y se concluye que la sustitución de biodiesel por diésel es viable en porcentajes admitidos por normas tales como la ASTM (EE.UU.), EN (Europa) a nivel internacional y localmente las normas del INEN.

3.2 Porcentajes de sustitución de diésel por biodiesel

Los porcentajes de sustitución de biodiesel se designan por BXX, donde XX equivale a la cantidad de biodiesel que contiene la mezcla. La tabla 3.3 detalla la norma americana (ASTM) que especifica la mezcla de diésel que contiene entre 6 y 20% de biodiesel.

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Punto de inflamación	°C	52	-
Agua y sedimentos	% vol.	-	0,05
Ceniza	%(m/m)	-	0,01
Azufre			
-S15	Ppm	-	0,0015
-S500	Ppm	-	0,05
Corrosión en lámina de cobre	Clasificación	-	No. 3
Índice de cetano	-	40	-
Residuo carbonoso	%(m/m)	-	0,35
Valor ácido	mgKOH/g	-	0,3
Estabilidad a la oxidación	Horas	6	-
Lubricación	Micrones	-	520
Contenido de biodiésel	% volumen	6	20

Tabla 3.3 Norma ASTM D7467-10. Especificación estándar para Diésel. Biodiésel Mezcla (B6 – B20)

Fuente: Valencia B. Lyanne S., *Caracterización de mezclas diésel-biodiésel orientadas a disminuir las emisiones contaminantes provocadas por fuentes móviles*, Quito, 2013.

En estudios realizados se deduce que al utilizar mezclas diésel-biodiesel en motores de combustión interna se reduce significativamente el desgaste del sistema de combustible y se extiende la vida útil de los inyectores, debido a que el biodiesel tiene mejores propiedades lubricantes y un alto índice de cetano en relación al diésel. En países que tienen mayor experiencia con el uso de esta mezcla, utilizan el B5 como es el caso de países de Europa, Colombia y Perú, debido a que el biocombustible sirve como aditivo del diésel.

En Ecuador, el Decreto Ejecutivo No. 1303 emitido el 17 de septiembre del 2012 por la Presidencia de la República estipula la distribución y comercialización de la mezcla de diésel con biodiesel en una proporción del 5% de biodiesel (B5), misma que deberá ir incrementando progresivamente el porcentaje hasta alcanzar un 10% (B10) en función de la oferta de biocombustibles que se tenga en el país.

La unidad de negocio CELEC E.P. Termopichincha ha realizado investigaciones de la utilización de biodiesel en sustitución del diésel No. 2 (tipo eléctrico), con un plan piloto en la Isla Puna, el cual podría extenderse a las Islas Galápagos aportando a la iniciativa cero combustibles fósiles para las Islas Galápagos.

El biocombustible usado en las pruebas es biodiesel de piñón, en cambio el proyectado a utilizar será el biodiesel de palma. En las pruebas se utilizó un motor de combustión interna marca Deutz, modelo F51912, de una potencia de 35 Kw, fabricado para operar con diésel, en donde se ensayaron diferentes mezclas proporcionales de diésel/biodiesel (BXX) y biodiesel puro (B100).

Los resultados respecto al rendimiento energético mostraron una disminución de 12,4 a 11,1 equivalente a un descenso del 1,2% con relación al del diésel. El consumo de biodiesel se incrementó de 0,081 a 0,090 debido a que este tiene un 12% más bajo su poder calórico.

Con respecto al motor, después de haber trabajado aproximadamente 650 horas se pudo constatar que no se efectuaron daños en el motor y que todas sus partes presentan las mismas condiciones como cuando operaba con diésel de origen fósil. Todo esto ha permitido reducir la contaminación ambiental por uso de combustible fósil y la posible contaminación del agua por derrames de combustible durante el proceso de transportación marítima hacia la Isla [24].

A continuación se presenta una tabla con fabricantes de motores y vehículos respecto del uso de biodiesel.

Fabricante	Posición
Asociación de Fabricantes de Motores (EMA)	B5 aceptable si este cumple con la ASTM D6751
Caterpillar	Muchos motores aprobados para B100; para otros solamente es aceptable B5. Este debe cumplir con ASTM D 6751
Cummins	Todos los motores aprobados para B5. Este Debe cumplir con ASTM D 6751
DaimlerChrysler	B5 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir con ASTM D 6751
Detroit Diésel	B20 aprobado para todos los motores/vehículos pero este debe cumplir las especificaciones para diésel
Ford	B5 aceptable para todos los vehículos pero debe cumplir con ASTM D 6751 Y EN 14214
General Motors	B5 aceptable para todos los vehículos pero debe cumplir con ASTM D6751
International Truck and Engine	B20 aceptable para todos los motores pero debe cumplir con ASTM D6751
John Deere	B20 aceptable para todos los motores pero debe cumplir con ASTM D6751
Volkswagen	B5 aceptable para todos los motores, pero el combustible debe tener un estándar de calidad (ASTM D 6751 o EN 14214)
Fabricantes de equipos de inyección de combustibles	Posición
Bosch	B5 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir la EN 14214.
Delphi	B5 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir la ASTM D6751
Stanadyne	B20 aceptable para todos los vehículos pero este debe cumplir la ASTM D 6751

Tabla 3.4 Recomendaciones de uso de biodiesel de los Fabricantes de automóviles y motores

Fuente: Ganduglia Federico, Manual de biocombustibles, Argentina, IICA, 2009.

La mezcla B5 es aceptada en la mayor parte de fabricantes de motores, como en equipos de inyección de combustible. El biodiesel puro B100 es aceptado por un fabricante específico.

3.3 Determinación del área del cultivo energético

Para la determinación del área de cultivo energético se parte del conocimiento del consumo de diesel anual a nivel nacional que efectúan las centrales termoeléctricas, el cual se detalla en el anexo C.

En la siguiente tabla se resumen los consumos anuales del año 2013y 2014.

DIÉSEL TIPO 2	Ene – dic2013	Ene - oct 2014
Consumo(gal)	101.312.450	80.750.801

Tabla 3.5 *Consumo diesel tipo2 por años*

Fuente: *Consumo diésel por unidades generadoras en período 2013, enero – octubre 2014, CENACE.*

Para realizar la estimación de consumo de diesel para los próximos años se necesita citar la tabla del Plan Maestro de electrificación 2013-2022, el cual presenta la tendencia prevista en etapas anuales para un escenario hidrológico medio [35].

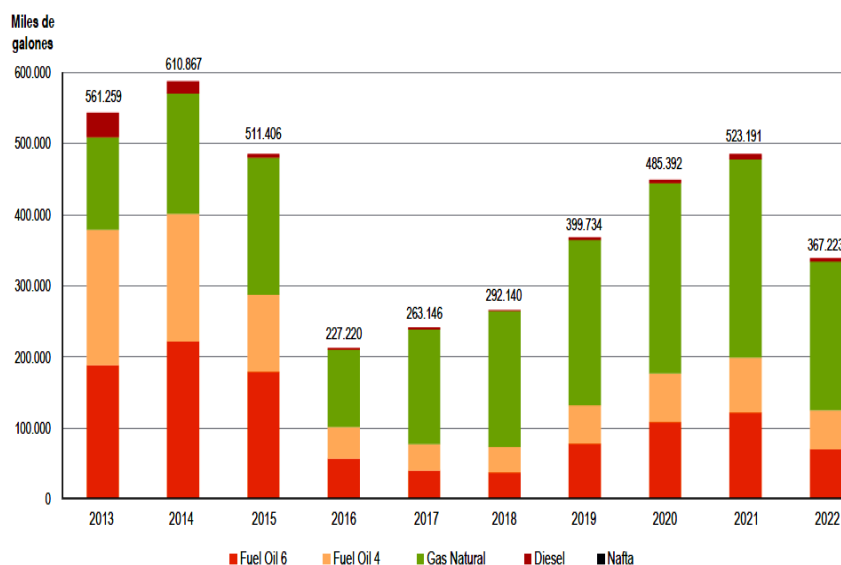


Figura 3.1 Consumo estimado de combustibles, período 2013 – 2022, escenario hidrológico medio.
Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022.

A continuación se presenta la tabla con los valores equivalentes de la figura anterior.

Año	Gas Natural (KPC)	Diésel (galón)	Fuel Oil 4 (galón)	Fuel Oil 6 (galón)	Gas Natural (galon ¹)	Total
2013	17,490	34,088	190,489	188,814	130,378	543,769
2014	22,764	17,179	179,486	221,745	169,693	588,103
2015	25,912	4,749	108,059	179,526	193,159	485,493
2016	14,688	1,683	44,227	57,131	109,491	212,532
2017	21,653	2,370	37,402	40,310	161,411	241,493
2018	25,721	1,294	35,399	37,991	191,735	266,419
2019	31,196	3,851	53,887	78,252	232,548	368,538
2020	35,939	4,755	67,906	108,887	267,905	449,453
2021	37,435	7,581	77,131	121,988	279,056	485,756
2022	28,052	4,715	54,679	70,666	209,112	339,172
Total	260,850	82,265	848,665	1,105,310	1,944,488	3,980,728

Tabla 3.6 Consumo estimado de combustibles, período 2013 – 2022, escenario hidrológico medio.
Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022.

Poder Calorífico superior del gas 1.017 BTU/pie³
Poder Calorífico superior del Fuel Oil 136.429 BTU/galón

En la siguiente tabla se muestra la aplicación de diferentes mezclas B5, B10, B15, B20; de acuerdo al consumo anual de combustibles por parte de las centrales termoeléctricas.

		Mezcla al :	5%	Mezcla al :	10%	Mezcla al :	15%	Mezcla al :	20%
Galones /año	Diésel	Diésel desplazado	B5	Diésel desplazado	B10	Diésel desplazado	B15	Diésel desplazado	B20
2013	34.088	1.704	1.892	3.409	3.785	5.113	5.677	6.818	7.570
2014	17.179	859	954	1.718	1.907	2.577	2.861	3.436	3.815
2015	4.749	237	264	475	527	712	791	950	1.055
2016	1.683	84	93	168	187	252	280	337	374
2017	2.370	119	132	237	263	356	395	474	526
2018	1.294	65	72	129	144	194	216	259	287
2019	3.851	193	214	385	428	578	641	770	855
2020	4.755	238	264	476	528	713	792	951	1.056
2021	7.581	379	421	758	842	1.137	1.263	1.516	1.684
2022	4.715	236	262	472	524	707	785	943	1.047
Total	82.265	4.113	4.567	8.227	9.134	12.340	13.701	16.453	18.269

Tabla 3.7 Consumo estimado Diésel tipo 2 en centrales termoeléctricas y reemplazo Por B5, B10, B15, B20.

Fuente: Roberto Túqueres.

Con los datos obtenidos de la tabla 3.7 y considerando las siguientes equivalencias:

Tipo de Combustible	Poder calorífico (kj/kg)
Diésel	41,86
Biodiesel	37,70

Tabla 3.8 Factores de transformación.

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022.

A continuación se muestra un análisis gráfico:

Consumo Proyectado de Biodiésel

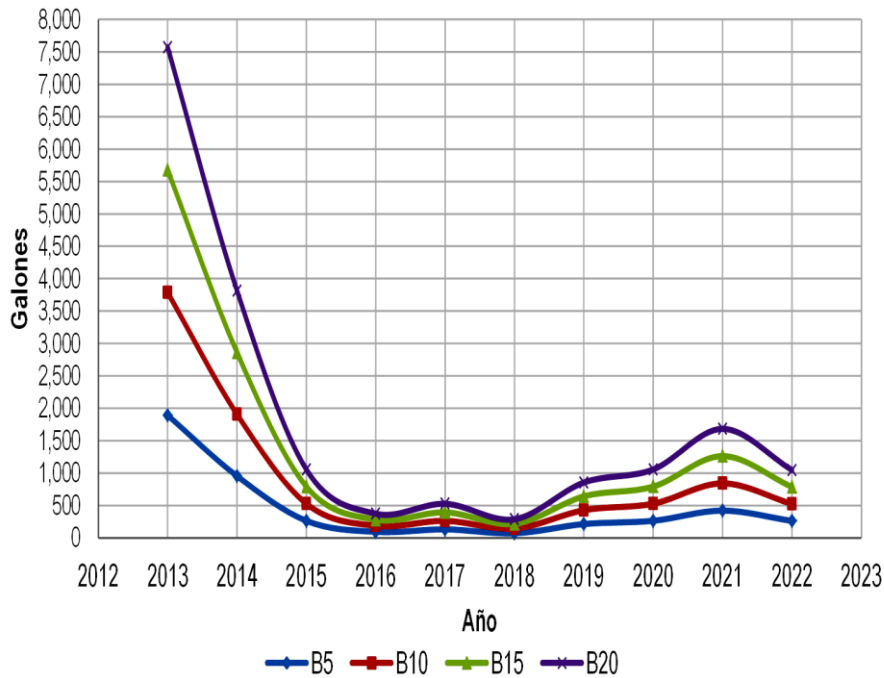


Figura 3.2 Tendencia del consumo biodiesel 2013 – 2022
Fuente: Roberto Túqueres.

Del análisis anterior se concluye que la demanda de diésel No 2 en el Sector Eléctrico tiene tendencia decreciente, desde el 2013 hasta que en el año 2018, donde comienza a invertirse la tendencia, concomitante con la necesidad de despachar un mayor número de centrales térmicas debido al crecimiento de la demanda.

Aproximadamente 1, 892,000 galones biodiesel/año y esto representa 6,301 TM de aceite de palma (*Elaeis Guineensis*). Esto equivale a 1,3% de la producción total nacional del año 2012.

La producción Nacional de Palma Africana en el año 1993 fue de 152,537 TM, desde entonces la producción se ha incrementado en valores bastante representativos llegando a ser en el año 2012 de 480,000.00 TM. El consumo nacional está alrededor de los 210,000.00 TM, dejando alrededor de 270,000.00 TM de excedentes que son exportados a EE.UU., Alemania y Perú [10].

Para la Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana (ANCUPA) el incremento de la producción de aceite de palma a través del mejoramiento de los suelos,

mayor innovación tecnológica y capacitación de la mano de obra, se puede satisfacer el mercado nacional y aumentar las exportaciones, trazándose un objetivo para el 2020 de llegar a producir 865,847 TM, de las cuales 588,233 se destinarán a la exportación [36].

En la siguiente tabla se presenta el detalle anual proyectado de consumo de diésel para el transporte en Ecuador:

Año	Miles litros totales para transporte pesado	Miles Litros B5	Miles Litros B10
2013	2,959,595	147,980	
2014	3,070,133	153,507	307,013
2015	3,180,671	159,034	318,067
2016	3,274,407	163,720	327,441
2017	3,384,945	169,247	338,495
2018	3,495,483	174,774	349,548
2019	3,606,021	180,301	360,602
2020	3,716,559	185,828	371,656
2021	3,827,097	191,355	382,710
2022	3,937,635	196,882	393,764
2023	4,048,173	202,409	404,817
2024	4,158,711	207,936	415,871
2025	4,291,910	214,596	429,191
2026	4,458,623	222,931	445,862
2027	4,569,161	228,458	456,916
2028	4,679,699	233,985	467,970
2029	4,790,237	239,512	479,024
2030	4,900,775	245,039	490,078

Tabla 3.9 Consumo de Diésel del sector de Transporte Pesado y aplicación del decreto 1303.

Fuente: Herrera H. Juan C., *Análisis económico de la introducción de Biodiésel en el suministro al Transporte Pesado, 2012.*

De lo anterior se concluye que el consumo de combustible por parte del sector del transporte se incrementa en el orden del 35% en un rango de 10 años.

En la siguiente tabla se determina los valores de TM para los reemplazos B5, B10, B15, B20, para el año 2014.

BIODIESEL	TRANSPORTE B5	TERMOELÉCTRICAS B5	TRANSPORTE B10	TERMOELÉCTRICA S B10	TRANSPORTE B15	TERMOELÉCTRICAS B15	TRANSPORTE B20	TERMOELÉCTRICAS B20
galones	40.556.671	954.000	81.113.078	1.907.000	121.669.749	2.861.000	3.814.000	3.814.000
litros	153.507.000	3.610.890	307.013.000	7.217.995	460.520.000	10.828.885	614.026.000	14.439.775
bbbl	965.574	22.713	1.931.142	45.402	2.896.717	68.115	3.862.285	90.828
m3	153.507	3.611	307.013	7.218	460.520	10.829	614.026	14.440
TM	135.086	3.178	270.171	6.352	405.258	9.529	540.343	12.707
TM Total	138.264		276.523		414.787		553.050	

Tabla 3.10 Consumo de Biodiésel del sector de Transporte Pesado y Centrales Termoeléctricas.
Fuente: Roberto Túqueres.

Con este antecedente se tiene que para el año 2014 el consumo de transporte pesado requiere de 135,086 TM y las centrales termoeléctricas 3,178 TM para una mezcla B5, dando como resultado un consumo estimado de 138,263 TM de aceite de palma, y esto representa el 28% de la producción total del año 2012.

Del análisis anterior se concluye que la sustitución de 5% y 10% de biodiesel es viable en línea con la aplicación del Decreto 1303. Incentivando al cambio de la matriz productiva creando nuevas plazas de empleo y cultivando los suelos sin poner en riesgo la seguridad alimentaria del país.

En la siguiente tabla se muestra la producción de palma africana en el país por número de palmicultores con la superficie cultivada.

Rango (ha)	Superficie (ha)	Porcentaje de superficie	No. de Palmicultores	Porcentaje de Palmicultores
De 0 a 10	14327.62	6.9	2306	41.81%
De 11 a 20	18664.43	9	1163	21.09%
De 21 a 50	49080.53	23.7	1336	24.22%
De 51 a 100	38783.18	18.7	464	8.41%
De 101 a 200	31145.76	15	175	3.17%
De 201 a 500	17774.95	8.6	52	0.94%
De 501 a 1000	11282.36	5.4	10	0.18%
> 1000	26226.48	12.7	9	0.16%
TOTAL	207285.31	100	5515	100.00%

Tabla 3.11 Estratificación de las Plantaciones de Palma aceitera por superficie.
Fuente: LA FABRIL, "Biodiesel una perspectiva empresarial", Manta, 2012.

El rango de cultivo de 21 a 50 ha concentra la mayor cantidad de superficie de siembra de la palma

A continuación se presenta la siguiente donde tabla donde se observa el rendimiento en litros de diferentes cultivos, de los cuales se obtiene aceite para luego convertirlo en biodiesel.

Cultivo	Rendimiento de biodiesel (l/ha)
Soya	420
Girasol	890
Maní	990
Colza	1.100
Coco	2.510
Palma africana	5.550

Tabla 3.12 *Rendimiento de biodiesel por fuente de origen.*

Fuente: *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Atlas de la Agro energía y los biocombustibles en las Américas, Costa Rica, 2010.*

Se observa que en este caso la palma presenta una mayor cantidad de extracción litros por hectárea.

A continuación se presenta una figura de los excedentes de producción de aceite de palma por años.

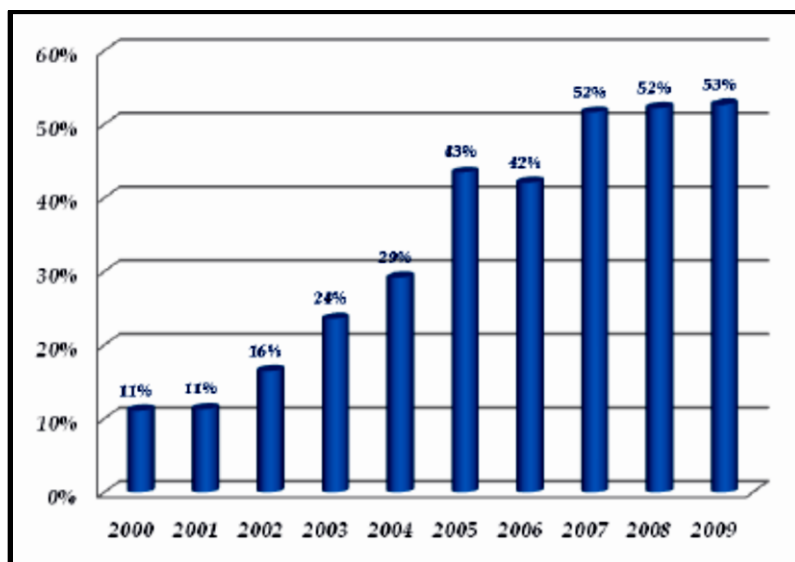


Figura 3.3 Evolución de los excedentes de producción de aceite de palma 2000 – 2009

Fuente: Fundación de Fomento de Exportadores de Aceite de Palma y sus Derivados de Origen Nacional (FEDAPAL).

La producción de palma aceitera como monocultivo es capaz de mantenerse por alrededor de 25 años, a partir del segundo año de siembra, con un rendimiento de 20 TM de aceite por Hectárea [29]. En el anexo F se puede observar las zonas de cultivo en el país.

Con los datos mostrados en la tabla 3.10 y 3.11 se deduce que para una sustitución B5 se requieren 28,310 hectáreas de palma, como se detalla a continuación:

Biodiesel	litros	galones	Palma ha
B5	157.117.890	41.510.671	28.310
B10	314.230.995	83.020.078	56.618
B15	471.348.885	124.530.749	84.928
B20	628.465.775	166.040.156	113.237

Tabla 3.13 Hectáreas de cultivo de Palma aceitera para abastecer consumo de biodiesel de Transporte Pesado y Centrales Termoeléctricas.

Fuente: Roberto Túqueres.

En el país existe la viabilidad para el uso de B5 y B10, debido a que los valores de consumo se contemplan dentro de los excedentes que se destinan para la exportación de

biocombustibles, mientras que B15 Y B20 no son viables ya que en los años posteriores el consumo de biocombustibles para el transporte pesado tiene un incremento notable como se observa con los datos de la tabla 3.8. Mientras que las centrales termoeléctricas pueden ser abastecidas por los cultivos energéticos, debido a que en los siguientes años existe una disminución en el uso de combustibles fósiles como el diésel, a causa de que entran a operar las Centrales Hidroeléctricas que se construyen en el país.

A continuación un gráfico representativo.

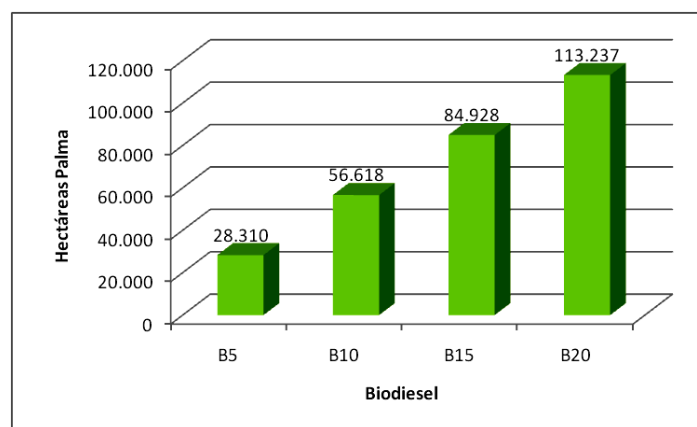


Figura 3.4 Cultivo Palma Africana por ha

Fuente: Roberto Túqueres.

3.4 Costo variable de Producción de la Central Modificada.

El “costo variable de producción es aquel necesario para operar y mantener la unidad o planta generadora y que cambia en función de la energía producida” [31]. El Costo Variable – CV - posee los siguientes componentes:

- Combustibles
- Transporte de combustibles
- Lubricantes, productos químicos y otros insumos para la operación
- Agua potable
- Energía eléctrica para servicios
- Mantenimientos programados (preventivos y correctivos)

- Costos variables de operación y mantenimiento de los equipos e instalaciones usados para el control y mitigación de impacto ambiental.

Es decir:

$$CVP= CC+CTC+CLYO+CAP+CM+CVIAM+CEE \quad (3.1)$$

Donde el Costo de combustible:

$$CC=PC/RC \quad (US\$/kWh) \quad (3.2)$$

$PC=$ Precio promedio de venta

$RC=$ Rendimiento de la unidad ;

A continuación se presenta una tabla con valores de combustibles:

Combustible		B5	B10	B15	B20
Precio Biodiesel(US\$/gal)	4,06	0,20	0,41	0,06	0,81
Precio Diésel (US\$/gal)	2,83	2,69	2,55	2,41	2,26
Precio ponderado (US\$/gal)		2,89	2,95	2,47	3,08

Tabla 3.14 Precios en el Mercado Internacional de Diésel y Biodiesel.

Fuente: <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/diésel>

Con estos valores nos sirve para el cálculo de costo de combustible en el costo variable de producción (CVP).

Otra consideración en este caculo es que, con la sustitución de biodiesel se incrementa un 13% el suministro de combustible, para una eficiencia térmica del 46% [8], ocasionando una disminución en el rendimiento del por galón del biodiesel. A continuación se presenta la tabla con el valor calculado del precio del combustible realizado el reemplazo B5, B10, B15, B20, con el uso de la fórmula 3.2 en una hoja de Excel.

Rend con Diesel (kWh/gal)	12,20
Costo Combustible con Diesel (US\$/gal)	0,30
Rend con Biodiesel (kWh/gal)	10,61
Costo Combustible Mezcla B5 (US\$/gal)	0,43
Costo Combustible Mezcla B10 (US\$/gal)	0,44
Costo Combustible Mezcla B15 (US\$/gal)	0,35
Costo Combustible Mezcla B20 (US\$/gal)	0,36

Tabla 3.15 Costo de combustibles con reemplazo B5, B10, B15, B20 en Centrales Termoeléctricas

Fuente: Roberto Túqueres.

Estos valores están calculados con un precio internacional del diésel 2. El detalle por unidades de generación se encuentra en los anexos.

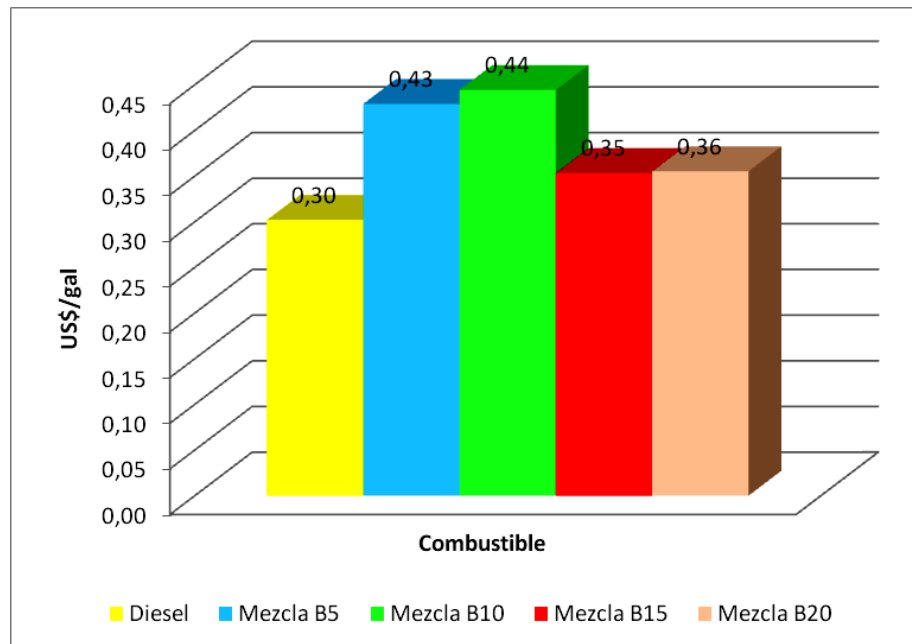


Figura 3.5 Costo de combustible.

Fuente: Roberto Túqueres.

Costo de Transporte de combustible:

$$CTC = PGT / RC \quad (US\$/kWh) \quad (3.3)$$

PGT = Precio del transporte Por unidad de volumen;

Este valor se mantiene debido a que el medio de transporte a ser usado es el mismo desde las terminales de despacho hasta la ubicación de cada una de las unidades de generación.

Costo de Lubricantes, productos químicos y otros insumos:

$$CLYO = \sum (PU_i \times MC_i) / GB \quad (3.4)$$

PU_i = Precio unitario dl insumo

MC_i = Consumo del insumo

GB = Generación bruta (kWh)

Este valor no tiene variación debido a que el biodiesel actúa como aditivo para el diésel. Se usa como referencia el valor declarado en CVP de unidades de generación reportado al CENACE.

Costo de agua Potable:

$$CAP = PA \times CAA / GB \quad (3.5)$$

PA = Precio del agua potable

CAA = Consumo agua potable (m^3)

Costos de Mantenimiento:

$$CM = (RPTM + OIM + MOAM) / GB \quad (3.6)$$

Donde: $RPTM$ = Valor de repuestos de mantenimientos programados

OIM = Valor otros insumos de mantenimientos programados

$MOAM$ = Valor mano de obra adicional

GB = Generación bruta estimada durante el ciclo operativo (kWh)

Costo de energía eléctrica para servicios auxiliares:

$$CEE = (CC+CTC+CLYO+CAP+CM+CVIAM)/(1-CAX/GB) \times CAX/GB \quad (3.7)$$

Donde: CAX= Consumo de energía para servicios auxiliares en kWh

GB= Generación Bruta estimada en kWh

Con el consumo de combustible que se detalla en el anexo C, se procede a establecer los valores para el costo variable de producción para B5, B10, B15, B20. Utilizando las anteriores fórmulas se procede a calcular en una hoja Excel los valores antes mencionados, y a continuación se presenta una tabla con los promedios de los valores.

Rendimiento con Diesel (kWh/gal)	12,20
Costo Combustible con Diesel (US\$/gal)	0,30
Rendimiento con Biodiesel (kWh/gal)	10,61
Costo Combustible Mezcla B5 (US\$/gal)	0,35
Costo Combustible Mezcla B10 (US\$/gal)	0,35
Costo Combustible Mezcla B15 (US\$/gal)	0,35
Costo Combustible Mezcla B20 (US\$/gal)	0,36
Transporte US\$/kWh	0,00
Lubricantes US\$/kWh	0,01
Agua US\$/kWh	0,00
Mantenimiento US\$/kWh	0,03
Control US\$/kWh	0,00
Servicios US\$/kWh	0,00
TOTAL B5 US\$/kWh	0,39
TOTAL ctvs US\$/kWh	38,82
TOTAL B10 US\$/kWh	0,39
TOTAL ctvs US\$/kWh	39,03
TOTAL B15 US\$/kWh	0,39
TOTAL ctvs US\$/kWh	39,23
TOTAL B20 US\$/kWh	0,39
TOTAL ctvs US\$/kWh	39,44

Tabla 3.16 Costo variable de producción realizado el reemplazo por B5, B10, B15, B20 en Centrales Termoeléctricas.

Fuente: Roberto Túqueres

Con los datos anteriores se obtiene el siguiente gráfico.

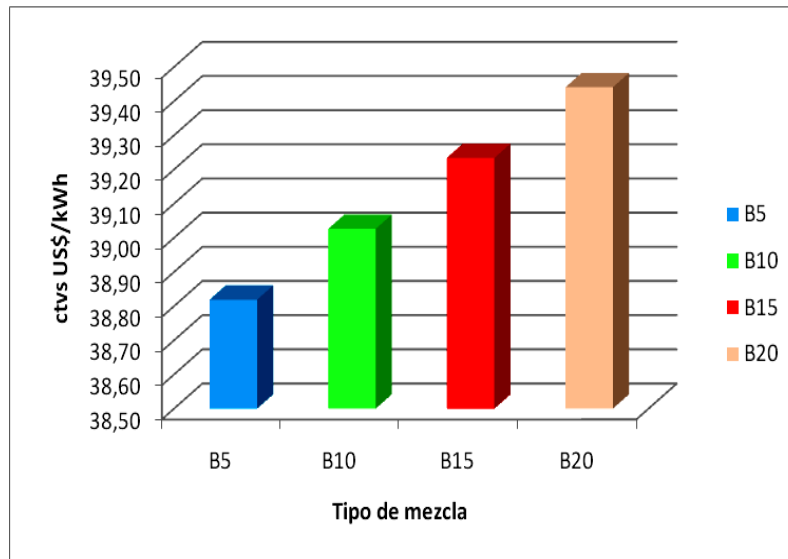


Figura 3.6 Costo variable de producción en Centrales Termoeléctricas modificadas.

Fuente: Roberto Túqueres

El costo de variable de producción presenta un incremento de 0,002 US\$/kWh de acuerdo a cada reemplazo de biodiesel por diésel. El detalle de costo variable de producción por unidad de generación se encuentra en los anexos. Al análisis de los valores de CVP anterior se concluye que el reemplazo con biocombustibles tienen un incremento de hasta 4 veces con respecto al diésel 2 que se utiliza en nuestro país, debido a que este es subsidiado por el estado, mientras que con el precio internacional del combustible fósil tiene un incremento que va en el orden del 20%.

CAPITULO IV

ANALISIS ECONÓMICO

Este capítulo está dedicado a los costos de operación de la central con y sin modificación del combustible que es utilizado para su trabajo en la producción de energía eléctrica. Este análisis también comprende la sensibilidad de costos en función del porcentaje de mezcla del biodiesel, y al final se obtiene una evaluación de factibilidad económica de las centrales termoeléctricas motivo de nuestro caso de estudio.

4.1 Costos de operación de la central

En este análisis se emplea los datos de energía bruta producida por unidad de generación de las centrales termoeléctricas, el detalle de los valores por unidad de generación se encuentra en el anexo E. Con estos valores y el precio del costo variable de producción (CVP) del diésel subsidiado que se utiliza actualmente en este tipo de centrales, se obtiene los siguientes valores de costo de operación:

Total Año	ENERGÍA GWh	US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRALES US\$
2014	1.103	5,23	\$ 88.847.992,42

Tabla 4.1 Costo de operación de las Centrales Termoeléctrica con diesel subsidiado.

Fuente: Roberto Túqueres

La determinación por unidad de generación se encuentra en los anexos.

4.2 Costo de operación de la central modificada

En esta sección analizaremos el costo de operación de las centrales termoeléctricas con los reemplazos estudiados en el capítulo III.

A continuación en la siguiente tabla se detalla el total de los valores para el reemplazo B5, la especificación de costos por unidades de generación se encuentra en los anexos.

Año 2014	ENERGÍA GWh	CVP B5 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
Total	1.102	18,86	\$ 394.017.519

Tabla 4.2 Costo total de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B5.

Fuente: Roberto Túqueres

A continuación en la siguiente tabla se detalla el total de valores de costos de operación para el reemplazo B10, la especificación por unidades de generación se encuentra en los anexos.

Año 2014	ENERGÍA GWh	CVP B10 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
Total	1.102	18,95	\$ 396.269.530,56

Tabla 4.3 Costo de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo 10.

Fuente: Roberto Túqueres

A continuación en la siguiente tabla se detalla el total de los valores de costos de operación para el reemplazo B15, la especificación por unidades de generación se encuentra en los anexos.

Año 2014	ENERGÍA GWh	CVP B15 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
Total	1.102	\$ 19,06	\$ 398.521.541,67

Tabla 4.4 Costo de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B15.

Fuente: Roberto Túqueres

A continuación en la siguiente tabla se detalla el total de los costos de operación para el reemplazo B20, la especificación por unidades de generación se encuentra en los anexos.

	ENERGÍA GWh	CVP B20 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
Total	1.102	19,16	\$ 400.773.552,78

Tabla 4.5 Costo de operación de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B20.

Fuente: Roberto Túqueres

De las tablas presentadas anteriormente se concluye que una leve variación en el precio del combustible, influye notoriamente en el costo final de operación de este tipo de centrales termoeléctricas, aumentando miles de dólares en la mayoría de las unidades de generación.

4.3 Sensibilidad de costos en función del porcentaje de mezcla

A continuación se realiza un análisis de sensibilidad de los costos del CVP con diesel subsidiado, sin subsidio y con mezclas B5, B10, B15, B20:

	CVP US\$/kWh diesel subsidiado	CVP US\$/kWh diesel sin subsidiado	CVP US\$/kWh B5	CVP US\$/kWh B10	CVP US\$/kWh B15	CVP US\$/kWh B20
Promedio	0,107	0,274	0,388	0,390	0,392	0,394

Tabla 4.6 Costo variable de producción de las Centrales Termoeléctricas con reemplazo B5, B10, B15, B20.

Fuente: Roberto Túqueres

La apreciación que se tiene de los 4 tipos de reemplazos en su tercer dígito, influye en el costo final del CVP, también en el costo de operación. Los valores más altos corresponden a las unidades de la Eléctrica de Guayaquil y unidades de Termopichincha que operan en el Oriente ecuatoriano, lo cual se puede observar en el anexo.

4.4 Evaluación de factibilidad económica.

En el siguiente análisis se requiere conocer los costos de producción de biodiesel que se detallan a continuación:

	CONSUMO TM/TM BIODIESEL	PRECIOS US \$/TM	COSTO US \$/TM BIODIESEL
Aceite vegetal/Palma RBD)	1,0458	770,00	805,23
Metanol	0,1400	400,00	56,00
Catalizador	0,0140	990,80	13,87
Valor de Transf.			180,00
TOTAL COSTO BIODIESEL x TONELADA			1055,10

Tabla 4.7 Costos de producción Biodiesel.

Fuente: Herrera H. Juan C., Análisis económico de la introducción de Biodiesel en el suministro al Transporte Pesado, 2012.

El rubro más alto es la materia prima utilizada para la obtención de biodiesel por transesterificación.

En la siguiente tabla se observa la estimación de los costos de plantas que estarían en capacidad de captar la demanda de biodiesel:

Capacidad de procesamiento (Millones litros/año)	Costo de instalación (Millones US \$)
11.4	3.6
18.9	4.9
28.4	6.3
56.8	9.5
76.7	11.4
113.6	14.5
150	18.8
200	24.1
250	29.4
300	34.7
350	39.9
400	45.2
450	50.5
500	55.8

Tabla 4.8 Costos de instalación proyectados para plantas de Biodiesel.

Fuente: Herrera H. Juan C., *Análisis económico de la introducción de Biodiesel en el suministro al Transporte Pesado, 2012.*

Con la determinación de la cantidad de biocombustible en el numeral 3.3, se concluye que nuestra inversión se encuentra entre 18.800.000 US\$ para producir el biocombustible que debe abastecer al sector del transporte y las Centrales Termoeléctricas.

Con la aplicación del Decreto 1303 los costos de inversión en estas plantas de biodiesel se presentan en la siguiente tabla:

Año	Miles litros B5	Miles litros B10	Costo de Instalación Inferior (Millones US \$)	Costo de Instalación Superior (Millones US \$)	Observaciones para B5	Observaciones Para B10
2014	153,507	307,013	18.8	31.3		Inversión mínima de arranque, sin embargo no asegura el abastecimiento conforme el crecimiento de la demanda esperado
2015	159,034	318,067				
2016	163,720	327,441				
2017	169,247	338,495				
2018	174,774	349,548				
2019	180,301	360,602				
2020	185,828	371,656				
2021	191,355	382,710				
2022	196,882	393,764	24.1	40.0	Inversión que aseguraría el abastecimiento de Biodiesel B5 hasta el año 2022	Inversión que aseguraría el abastecimiento de Biodiesel B10 hasta el año 2022
2023	202,409	404,817				
2024	207,936	415,871				
2025	214,596	429,191				
2026	222,931	445,862				
2027	228,458	456,916				
2028	233,985	467,970				
2029	239,512	479,024	29.4	48.8	Inversión que aseguraría el abastecimiento de Biodiesel B5 hasta el año 2022	
2030	245,039	490,078	55.8	92.6		Inversión que aseguraría el abastecimiento de Biodiesel B5 hasta el 2022

Tabla 4.9 *Inversiones para el país en Plantas de Biodiesel.*

Fuente: *Herrera H. Juan C., Análisis económico de la introducción de Biodiesel en el suministro al Transporte Pesado, 2012.*

La inversión dentro en lapso de 10 años tiene un incremento de 6,00 a 10,00 millones de dólares para garantizar el abastecimiento del biocombustible en el país.

4.4.1 VALOR PRESENTE NETO (VPN)

El valor presente neto (VPN), de una inversión se entiende a la suma de todos los valores actualizados de todos los flujos netos de caja esperada del proyecto, deducido el valor de la inversión inicial.

VPN >0 = Financiamiento conveniente.

VPN =0 = Financiamiento indiferente.

VPN <0 = Financiamiento inconveniente.

En el cálculo del VPN para nuestro caso tenemos los siguientes valores:

Inversión inicial: 18 millones USD

Flujo de caja en el siguiente orden:

Miles de Galones /año	Mezcla al 5%				Mezcla al 10%			
	Diesel desplazado	B5	Ahorro por Diésel desplazado (US\$)	Costo del Biodiesel Sustituto B5 (US\$)	Diésel desplazado	B10	Ahorro por Diésel desplazado (US\$)	Costo del Biodiesel Sustituto B10 (US\$)
US\$/gal	2,84	2,51			2,84	2,51		
2013	1.704	1.892	4.837	4.746	3.409	3.785	9.674	9.491
2014	859	954	2.438	2.392	1.718	1.907	4.875	4.783
2015	237	264	674	661	475	527	1.348	1.322
2016	84	93	239	234	168	187	478	469
2017	119	132	336	330	237	263	673	660
2018	65	72	184	180	129	144	367	360
2019	193	214	546	536	385	428	1.093	1.072
2020	238	264	675	662	476	528	1.349	1.324
2021	379	421	1.076	1.055	758	842	2.151	2.111
2022	236	262	669	656	472	524	1.338	1.313
Total	4.113	4.567	11.673	11.453	8.227	9.134	23.347	22.905

Tabla 4.10 *Flujo de fondos para las mezclas B5, B10.*

Fuente: Roberto Túqueres.

Considerando los siguientes valores:

Inversión Inicial Total: US\$ 18.000.000; obtenidos según el análisis desarrollado en el numeral 3.3. Considerando que para el sector eléctrico el consumo de diesel corresponde al 2% del consumo total, sabiendo que:

Consumo Transporte: 40.556.671 gal biodiesel para una mezcla B5.

Consumo Sector Eléctrico: 954.000 gal biodiesel para una mezcla al 5%.

Entonces la Inversión aplicable al Sector Eléctrico es de: 702.629 US\$.

Con una tasa de Interés: 7.1%

Se obtiene el siguiente flujo de fondos netos:

US\$	Ahorro por Diesel desplazado	Costo del Biodiesel Sustituto B5	Flujo Neto
2013	4.837.087	8.834.626	-3.997.539
2014	2.437.700	4.452.301	-2.014.601
2015	673.883	1.230.804	-556.921
2016	238.818	436.185	-197.367
2017	336.303	614.236	-277.933
2018	183.619	335.367	-151.749
2019	546.457	998.068	-451.611
2020	674.735	1.232.359	-557.624
2021	1.075.744	1.964.776	-889.032
2022	669.059	1.221.992	-552.933

Tabla 4.11 *Flujo de fondos netos para B5.*

Fuente: Roberto Túqueres.

El VPN obtenido es de -1,704,000.

Repitiendo el análisis para las mezclas de B10 a B20 se obtienen los siguientes valores:

US\$	Ahorro por Diesel desplazado	Costo del Biodiesel Sustituto B10	Flujo Neto
2013	9.674.174	9.491.124	-183.050
2014	4.875.400	4.783.150	-92.250
2015	1.347.766	1.322.264	-25.502
2016	477.635	468.598	-9.038
2017	672.606	659.879	-12.727
2018	367.237	360.289	-6.949
2019	1.092.914	1.072.234	-20.680
2020	1.349.469	1.323.935	-25.534
2021	2.151.488	2.110.778	-40.709
2022	1.338.117	1.312.798	-25.319

Tabla 4.12 *Flujo de fondos netos para B10.*

Fuente: Roberto Túqueres.

US\$	Ahorro por Diesel desplazado	Costo del Biodiesel Sustituto B15	Flujo Neto
2013	14.511.262	14.236.686	-274.575
2014	7.313.100	7.174.725	-138.375
2015	2.021.649	1.983.397	-38.253
2016	716.453	702.897	-13.556
2017	1.008.909	989.819	-19.090
2018	550.856	540.433	-10.423
2019	1.639.371	1.608.351	-31.019
2020	2.024.204	1.985.902	-38.301
2021	3.227.232	3.166.168	-61.064
2022	2.007.176	1.969.197	-37.979

Tabla 4.13 *Flujo de fondos netos para B15.*

Fuente: Roberto Túqueres.

US\$	Ahorro por Diesel desplazado	Costo del Biodiesel Sustituto B20	Flujo Neto
2013	19.348.349	18.982.248	-366.100
2014	9.750.800	9.566.300	-184.500
2015	2.695.532	2.644.529	-51.004
2016	955.271	937.196	-18.075
2017	1.345.212	1.319.759	-25.453
2018	734.474	720.577	-13.897
2019	2.185.828	2.144.468	-41.359
2020	2.698.938	2.647.870	-51.068
2021	4.302.976	4.221.557	-81.419
2022	2.676.234	2.625.596	-50.638

Tabla 4.14 Flujo de fondos netos para B20.

Fuente: Roberto Túqueres.

Analizando los resultados obtenidos se observa que el costo del biodiesel influye de manera negativa en la viabilidad económica del proyecto. Si se asume un costo de biodiesel de diferente al precio internacional (4,8 US\$/gal), se obtienen los siguientes resultados:

Precio US\$/gal	VAN	TIR
4,08	-6.237.130	
3,00	-2.315.138	
2,50	-499.402	
2,40	-136.254	
2,38	-63.625	
2,37	-27.310	
2,36	289	7%
2,00	1.316.335	
1,50	3.132.072	

Tabla 4.15 Costo US\$/gal, VAN, TIR para B5.

Fuente: Roberto Túqueres.

Repitiendo el cálculo para el resto de mezclas: B5, B10, B15 y B20 se obtienen los siguientes resultados:

COSTO US\$/gal BIODIESEL	TIPO DE MEZCLA	VPN	TIR (%)
2,3625	B5	1	7
2,4592	B10	1	7
2,4915	B15	1	7
2,5076	B20	1	7

Tabla 4.16 Costos de Mezclas biodiesel, VPN, TIR.

Fuente: Roberto Túqueres.

Lo que nos indica que el proyecto es viable económicamente con un valor de combustible de 2,36 US\$/gal para una mezcla de 5% en volumen de diesel, y 2,45US\$/gal para un reemplazo B10, que se encuentra contemplado en la política de biocombustibles del país.

CONCLUSIONES

- El biodiesel contiene características físico-químicas similares a las del diesel de origen fósil, lo cual permite una mezcla en porcentajes que están estipulados en normas internacionales, como las locales y para su denominación se utiliza la nomenclatura BXX. En el país existe un Decreto Ejecutivo 1303 lo que viabiliza el uso de biocombustibles en porcentajes del 5% en volumen hasta llegar a un reemplazo máximo de 10% en volumen.
- Con un costo promedio de 5,23 US\$/kWh para una energía bruta de 1.103 GWh correspondiente a las Centrales Termoeléctricas se tiene un costo de operación de 88, 847,992 US\$, con combustible subsidiado.
- El costo de operación de la central modifica con un reemplazo al 5% en volumen de combustible tiene un valor de 349.017.519 US\$ con un valor promedio de 18,86 US\$/kWh para un energía bruta de 1.103 GWh. En el reemplazo con B10 se obtiene un valor de 396.269.530 US\$. En los reemplazos B10, B15 se obtienen los valores 398.521.541 US\$ y 400.773.552 US\$ respectivamente.
- El valor del costo variable de producción del diesel subsidiado con respecto al costo a nivel internacional tiene un aumento bien marcado, alcanzando más del doble de su valor. Al contrastar con el valor ponderado de las mezclas se observa que su incremento es aún más pronunciado con respecto al combustible subsidiado que se consume en las Centrales Termoeléctricas del país, llegando a un promedio de tres veces su valor, respectivamente.
- El flujo neto de los reemplazos estudiados para su aplicación en lo posterior en las unidades de generación con motores de combustión interna muestra un valor negativo, lo que encarece este tipo de energía, debido a que el valor del galón de

biodiesel de referencia se tomó a nivel internacional donde los combustibles no tienen política de subsidios.

- El análisis realizado en busca de un valor para las diferentes mezclas muestra que su costo debe bordear los 2,36 US\$/gal, con esto tenemos un VPN mayor a 0, lo que conviene para una inversión y con una Tasa interna de retorno (TIR) del 7% que es aceptable para los inversionistas.

- En los costos por galón el biodiesel tiene un valor de 1,5 a tres veces respecto al diésel, lo que cual lo hace un competidor muy caro con respecto al diesel subsidiado que se consume en nuestro país, en las Centrales Termoeléctricas. En cambio las ventajas medioambientales son superiores con respecto al combustible de origen fósil, siendo la principal la disminución de CO₂ que ayuda a detener el calentamiento global.

- El rendimiento energético del biodiesel tiene una disminución con respecto al diesel de origen fósil, lo que indica un aumento de consumo en volumen global de la mezcla, para mantener el mismo rendimiento de generación.

RECOMENDACIONES

- El costo del combustible para el sector eléctrico debe mantener el tratamiento especial que posee, para no encarecer las tarifas de energía (US\$/kWh) que se consume en el país.
- Se propone el uso de la mezcla B5 por tener un costo menor por galón y por no causar impactos considerables en el sistema de combustible de los motores de combustión interna.
- El uso de estas mezclas se recomienda en lugares donde los grupos generadores son de capacidad mediana y en aquellos lugares donde el uso de combustibles fósiles tenga repercusión en el medio ambiente a causa de derrames, sobre todo en las Islas Galápagos y las partes de la región costera donde existe manglares.
- Se debe continuar con la iniciativa gubernamental en la aplicación de biocombustibles por sus beneficios ecológicos. Además, será necesario implementar incentivos financieros e manera de lograr la disminución de costos de los biocombustibles con fines de generación de electricidad.

REFERENCIAS

- [1] Álvarez Flores Jesús A., Máquinas Térmicas Motoras, México, 2005.
- [2] Aguirre F., Carmona M., Romero M., Biodiesel Orizaba, México, Depi, 2011.
- [3] A. Murugesan, C. Umarani, R. Subramanian, N. Nedunchezian, Bio-diesel as an alternative fuel for diesel engines-A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13, pp. 653 - 662, 2009.
- [4] Avellanada V. Fredy A., Producción y caracterización de biodiesel de palma y aceite reciclado mediante un proceso Batch y un proceso continuo en un reactor helicoidal, Tesis 2010, Tarragona.
- [5] ANCUPA, Estadísticas Nacionales de Palma Africana, 2010
Disponibile on line en: www.ancupa.com.
- [6] Biocombustibles. Disponible (online) en:

<http://www.lycos.es/biodiésel/hoobies4.html>
- [7] Bravo Elizabeth, Bonilla Nathalia, Agrocombustibles: energía que extingue a la Pachamama, Heife, Quito, 2011.
- [8] Carvajal Pablo, Orbe Adrián, Balance energético nacional 2013, Manthra, Quito, 2013.
- [9] Castro Miguel, Hacia una Matriz Energética Diversificada en Ecuador, Quito, CEDA, noviembre 2011
- [10] Cengel Yunus A., Termodinámica, México, Mcgraw Hill, 2012.
- [11] Centrales Termoeléctricas. Disponible (online) en :

https://web.ing.puc.cl/~power/alumno06/RealOptions/cent_term.html
- [12] CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad), Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano 2011, Quito, noviembre 2012.
- [13] Constantine Iliopoulos, Stelios Rozakis, Enviroment cost effectiveness of bio diesel production in Greece; Current policies and alternative scenarios, Elseiver, Greece, pp.1067-1068, 2010.
- [14] Córdova J. Maricela Y. Impacto económico de las inversiones realizadas por el Iniap en investigación y transferencia de tecnología en palma africana (*Elaeis guineensis jacq*) Ecuador 2000 – 2011, Tesis 2013.

- [15] DECRETO 1303, Disposición general, Disposición transitoria, Quito, septiembre 2012.
- [16] E. Sadeghinezhad, S.N. Kazi, A. Badarudin, C.S. Oon, M.N.M. Zubir, Mohammad Mehrali, A comprehensive review of bio-diesel as alternative fuel for compression ignition engines, Elsevier, pp. 410 - 424, 2013.
- [17] E. Sadeghinezhad, S.N. Kazi, Foad Sadeghinejad, A. Badarudin, Mohammad Mehrali, Rad Sadri, Mohammad Reza Safaei, A comprehensive literature review of bio-fuel performance in internal combustion engine and relevant costs involvement, Elsevier, pp. 29 – 44, 2014.
- [18] ENERGÍAS RENOVABLES 2008 – ENERGÍA BIOMASA, Secretaria de Energía.
- [19] Enríquez Harper Gilberto, Tecnologías de generación de energía eléctrica, México, Limusa, 2011.
- [20] Espinoza Néstor, “Zonificación ecológica – económica de los cultivos a nivel nacional”, Quito, CLIRSEN, 2012.
- [21] Fedebiocombustibles, Guía de buenas prácticas de manejo para el biodiesel y las mezclas diésel-biodiesel en la cadena de distribución de combustibles líquidos derivados de petróleo en Colombia, Federación Nacional de biocombustibles de Colombia, 2008.
- [22] Figueroa de la Vega Francisco A., Tablero de Comando para la Promoción de los Biocombustibles en Ecuador, Santiago de Chile, GTZ, 2008.
- [23] Ganduglia Federico, Manual de biocombustibles, Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura, Costa Rica, 2009.
- [24] García C. Juan Manuel, García L. José A., Biocarburantes líquidos: biodiesel y bioetanol, CEIM, Madrid, 2006.
- [25] IEA, 2004, Biofuels for Transport: An International Perspective, Paris.
- [26] J. G. Rogers, J.G. Brammer, Estimation of the production cost of fast pyrolysis bio-oil, Biomass and Bioenergy 36, pp. 208-217, 2012.
- [27] Jiefeng Lin, Gabrielle Gaustad, Thomas A, Trabold, Profit and policy implications of producing biodiesel-ethanol-diesel fuel blends to specification, Applied Energy 104, pp. 936-944, 2013.
- [28] Konstantinos Braimakis, Konstantinos Atsonios, Kyriakos D. Panopoulos, Sotirios Karellas, Emmanuel Kakaras, Economic evaluation of decentralized

- pirolisis for the production of bio-oil as an energy carrier for improved logistic towards a large centralized gasification plant, Elsevier, pp. 57-72, 2014.
- [29] INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2482:2009, Quito, 2009.
- [30] INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización), Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1489:2011, Quito, 2011.
- [31] Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Atlas de la Agroenergía y los biocombustibles en las Américas, San José, 2010.
- [32] LA FABRIL, “Biodiesel una perspectiva empresarial”, Manta, 2012.
- [33] Lesley Potter M, La industria de aceite de palma en Ecuador: ¿un buen negocio para los pequeños agricultores?, Flacso, Cedet, Quito, 2011.
- [34] López Arango Diego, Termodinámica, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería, 2008.
- [35] Morales Juan, La industria de los biocombustibles en Ecuador: el estado de la situación, Tesis 2010.
- [36] Mobolaji B. Shemfe , Sai Gu, Techno-economic performance analysis of biofuel production and miniature electric power generation from biomass fast pyrolysis and bio-oil upgrading, Fuel 143, pp. 361-372,2015.
- [37] Normas ASTM. Disponible online en:
http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/D02E0_spnd08.html
- [38] Pfaumann Peter, Biocombustibles ¿La fórmula mágica para las economías rurales de ALC?, Banco Interamericano de Desarrollo, Unidad de Desarrollo Rural SDS/RUR, noviembre 2006.
- [39] Potter Merle C., Termodinámica, México, Thomson, 2006.
- [40] Quezada R. Juan C., Evaluación de la energía de combustión y otros parámetros físico-químicos del biodiesel obtenido a partir de cinco aceites vegetales, Tesis 2007.
- [41] Recalde Edmundo, Cultivos Energéticos, Centro Iberoamericano de investigación y Transferencia de Tecnología en Oleaginosas, Grupo Seritex, Ibarra, 2010.
- [42] Recalde Moreno Celso, Cabezas Luis, Determinación de las Potenciales Zonas Para el Cultivo de Elaeis Guineensis, Chimborazo, 2010.
- [43] Rolle Kurt C., Termodinámica, México, Pearson Education, 2006.

- [44] Sánchez G. Carlos A., Estudio de factibilidad para la elaboración de biodiesel a partir de aceite de palma africana en Ecuador, Tesis 2007.
- [45] Sánchez Naranjo Consuelo, Tecnología de las centrales termoeléctricas convencionales, Madrid, Universidad Nacional de Educación a distancia, octubre 2010.
- [46] Secretaría de energía, Energías renovables 2008 – Energía Biomasa, Coordinación de energías renovables, Buenos Aires, 2008.
- [47] V. Lawlor, A.G. Olabi, Review of scientific research PPO, tallow and RVO as diesel engine fuel, Elseiver, pp. 25 – 38, 2015.
- [48] Velasteguí Ana G., Lutticke Frank, Mentenegro Freddy, Caza Gabriela, Chile Maritza, Situación laboral y organizativa en las plantaciones de palma en el cantón Quinindé, Quito, 2012.
- [49] Waldyr R. L. Gallo, Aspectos medioambientales de la energía: energías renovables y biocombustibles, Agencia Nacional de Petróleo, gas natural y biocombustibles, Brasil, 2009.
- [50] Watson Gregory, Evaluando el clima de inversión en industrias relacionadas con nuevas energías y eficiencia energética en América Latina y el Caribe, Climascopio, 2012

ANEXOS

Energía Generada por tipo de productor (kWh)

2014

Unidad	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total Anual
ELECTROQUIL U1	11474067	20596678	9721469	8253159	1549462	2762932	748190	581645	2931108	0	5229421	12835351	76683481
ELECTROQUIL U2	0	0	0	9675609	6605984	7592778	4140084	4420977	17587085	9259595	20593952	0	79876065
ELECTROQUIL U3	3291178	12962546	0	0	87458	4912490	1584688	1146310	7260658	9478113	24241380	15206471	80171292
ELECTROQUIL U4	6712732	13734354	6912708	11500070	1808997	0	0	0	0	0	0	2752767	43421627
VICTORIA II U1 DIÉSEL	18549571	48179198	20773031	3277957	947830	3453927	7073625	0	6729406	13530860	48460905	12152103	183128413
LLIGUA U1	25212	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25212
LLIGUA U2	30032	191015	0	0	0	0	1262	1378	112	623	10549	36789	271760
A. TINAJERO U1	25369862	21353498	22103236	22258885	8965494	8081583	5976504	1978163	22069730	19212351	0	0	157369307
A. TINAJERO U2	5001961	14394837	6707078	4888884	460365	2326963	1442062	0	5298885	5655639	0	0	46176675
A. SANTOS U1	1150005	15156	0	0	0	0	0	0	553873	1825178	0	0	3544213
A. SANTOS U2	231206	1017001	406277	151949	77906	161079	177469	65439	0	143007	0	0	2431334
A. SANTOS U3	0	2043397	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2043397
A. SANTOS U5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A. SANTOS U6	564586	3594604	1104114	478816	0	0	0	0	0	0	0	0	5742120
CELEC GEN PERU MC1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12716629	12716629
E. GARCÍA U1	54882792	30455212	31653748	34967255	32156119	0	7360745	403	56287894	42	23934160	50063265	321761637
G. ZEVALLOSTG TG4	30926	3736836	1404622	1200757	504230	269081	326104	366304	392154	1230670	5225018	1792401	16479103
LA PROPICIA U3	60237	547029	165540	357558	50523	0	26005	0	0	56904	660791	257516	2182103
MIRAFLORES TG U1	2946937	7414221	1389728	588962	376259	384100	483674	0	817742	1164411	3682696	726267	19974998
MIRAFLORES U10	40464	191092	108456	70112	62723	48532	34948	20199	14026	37139	170965	41795	840450
MIRAFLORES U11	1258576	2362142	1014421	899593	324923	224609	0	0	1079354	1047264	2317495	1416731	11945106

MIRAFLORES U12	1654712	2429363	2714690	2236016	526075	1312639	526051	443002	1370035	734183	3234868	2643225	19824860
MIRAFLORES U13	160807	163317	60165	8287	19708	34218	21068	4995	4496	35978	136252	39673	688964
MIRAFLORES U14	195104	185415	64378	31698	21744	62229	26329	5250	18725	36471	146085	40288	833716
MIRAFLORES U15	43100	235613	110605	73638	72199	53570	37193	20377	14986	43028	161735	43872	909917
MIRAFLORES U16	14689	154500	61350	31300	27566	61983	24770	2955	13382	36635	128185	38357	595673
MIRAFLORES U18	13483	146386	65193	30534	30843	56724	24980	4175	18199	36038	136286	38636	601477
MIRAFLORES U22	10898	143998	62868	23116	30828	35932	21227	4349	12547	37673	143816	40786	568037
MIRAFLORES U7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MIRAFLORES U8	115515	130895	51470	5889	19185	22051	23337	11129	4079	35490	127090	39593	585722
CELSO CASTELLANOS MC U1	295454	114020	196829	201959	255926	140255	101359	136585	93995	19453	519	0	1556356
CELSO CASTELLANOS MC U2	224558	163488	105211	164412	205411	88392	101158	72063	69210	24103	0	0	1218006
CELSO CASTELLANOS MC U3	148109	53896	63637	0	0	0	9727	67103	62465	24409	2726	0	432071
CELSO CASTELLANOS MC U4	238018	212729	146682	184481	179262	116846	120539	86877	42698	18753	0	0	1346884
DAYUMA MC U1	118404	123383	109144	107508	67229	92821	138614	99916	147592	217732	222970	273116	1718430
DAYUMA MC U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ISLA PUNÁ MC U1	274952	251576	291460	288264	289014	277810	280634	268551	259540	277075	273285	292930	3325091
JIVINO 1 MC U1	68611	176860	45684	64280	75188	0	4591	3765	0	0	0	0	438978
JIVINO 1 MC U2	117516	244899	28239	81289	96387	36	5158	3283	1	6456	0	1	583264
LIMÓN MC U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15248	6967	22215
LORETO MC U1	166863	135753	147110	135800	122369	161787	208012	205629	254423	247096	266009	296275	2347125
LORETO MC U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PAYAMINO MC U1	26488	77315	34313	6459	23515	11049	111861	1381	63856	36840	31657	32402	457136
S. ROSA U1	373657	2530756	602987	704601	123661	271203	253227	35113	906555	226521	588693	86702	6703676
S. ROSA U2	458823	2728581	524838	913259	124697	266268	273005	32139	281374	228164	671226	81705	6584078
S. ROSA U3	259180	2806186	664678	1182456	227170	0	0	0	0	0	0	0	5139670
MACAS MC U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19891	8695	28586
A. TINAJERO U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26163122	24401480	50564603
A. TINAJERO U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14497914	8354522	22852436

A. SANTOS U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4631258	1132503	5763761
A. SANTOS U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1209586	178623	1388210
A. SANTOS U3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31050	31050
A. SANTOS U5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140755	140755
A. SANTOS U6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SAN FRANCISCO U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LULUNCOTO U1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LULUNCOTO U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LULUNCOTO U3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CATAMAYO U10	318222	712451	288024	93846	92112	49847	35995	16719	259213	150916	696475	375581	3089401
CATAMAYO U2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	350	418	844
CATAMAYO U4	20141	132415	50739	25488	4695	14818	9495	6834	14195	21140	122780	22384	445124
CATAMAYO U5	5829	124954	41184	6408	9785	5677	7722	0	0	1696	69981	21195	294431
CATAMAYO U6	453242	726050	362246	144840	0	0	0	0	0	0	0	0	1686379
CATAMAYO U7	175033	0	0	0	0	4713	59041	2688	501054	363744	918251	378693	2403219
CATAMAYO U8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CATAMAYO U9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63915	430929	494844

Costo Variable de producción por mezclas de B5 –B20

UNIDAD	Rendimiento con Diésel (kWh/gal)	Costo Combustible con Diésel (US\$/gal)	Rendimiento con Biodiésel (kWh/gal)	Costo Combustible Mezcla B5 (US\$/gal)	Costo Combustible Mezcla B10 (US\$/gal)	Costo Combustible Mezcla B15 (US\$/gal)	Costo Combustible Mezcla B20 (US\$/gal)
ALVARO TINAJERO 1	14,12	0,26	12,28	0,30	0,30	0,30	0,30
ALVARO TINAJERO 2	11,11	0,33	9,67	0,38	0,38	0,38	0,38
ANIBAL SANTOS 1	10,42	0,35	9,07	0,40	0,41	0,41	0,41
ANIBAL SANTOS 2	9,90	0,37	8,61	0,42	0,43	0,43	0,43
ANIBAL SANTOS 3	10,45	0,35	9,09	0,40	0,40	0,41	0,41
ANIBAL SANTOS 5	9,78	0,37	8,51	0,43	0,43	0,43	0,44
ANIBAL SANTOS 6	9,50	0,38	8,27	0,44	0,44	0,45	0,45

CATAMAYO 10	12,54	0,29	10,91	0,33	0,34	0,34	0,34
CATAMAYO 2	14,67	0,25	12,76	0,29	0,29	0,29	0,29
CATAMAYO 4	12,48	0,29	10,85	0,34	0,34	0,34	0,34
CATAMAYO 5	11,79	0,31	10,26	0,36	0,36	0,36	0,36
CATAMAYO 6	14,57	0,25	12,67	0,29	0,29	0,29	0,29
CATAMAYO 7	13,93	0,26	12,12	0,30	0,30	0,30	0,31
CATAMAYO 8	12,62	0,29	10,98	0,33	0,33	0,34	0,34
CATAMAYO 9	12,9384	0,28	11,26	0,32	0,33	0,33	0,33
CELSO CASTELLANOS 1	12,5	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34
CELSO CASTELLANOS 2	12,5	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34
CELSO CASTELLANOS 3	12,5	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34

CELSO CASTELLANOS 4	12,5	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34
DAYUMA U1	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
DAYUMA U2	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
ELECTROQUIL 1	14,09	0,26	12,26	0,30	0,30	0,30	0,30
ELECTROQUIL 2	14,65	0,25	12,75	0,29	0,29	0,29	0,29
ELECTROQUIL 3	14,46	0,25	12,58	0,29	0,29	0,29	0,30
ELECTROQUIL 4	14,62	0,25	12,72	0,29	0,29	0,29	0,29
ENRIQUE GARCIA TG5	11,54	0,31	10,04	0,36	0,37	0,37	0,37
G. ZEVALLOS TG4	10,23	0,35	8,90	0,41	0,41	0,42	0,42
ISLA PUNA	11,5	0,32	10,01	0,36	0,37	0,37	0,37
JIVINO I-1	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
JIVINO I-2	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LA PROPICIA 3	13	0,28	11,31	0,32	0,32	0,33	0,33
LIMON	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LLIGUA 1	11,53	0,31	10,03	0,36	0,37	0,37	0,37

LLIGUA 2	11,6	0,31	10,09	0,36	0,36	0,37	0,37
LORETO U1	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LORETO U2	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LULUNCOTO 11	13,85	0,26	12,05	0,30	0,30	0,31	0,31
LULUNCOTO 12	14,35	0,25	12,48	0,29	0,29	0,30	0,30
LULUNCOTO 13	13,9	0,26	12,09	0,30	0,30	0,31	0,31
MACAS	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 10	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 11	16	0,23	13,92	0,26	0,26	0,27	0,27
MIRAFLORES 13	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 14	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 16	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 18	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 22	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 7	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36

MIRAFLORES 8	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES TG1	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
PAYAMINO	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
PEDERNALES 15	12	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
RIOBAMBA	12,39	0,29	10,78	0,34	0,34	0,34	0,34
SANTA ROSA 1	9,5	0,38	8,27	0,44	0,44	0,45	0,45
SANTA ROSA 2	9,5	0,38	8,27	0,44	0,44	0,45	0,45
SANTA ROSA 3	9,5	0,38	8,27	0,44	0,44	0,45	0,45
VICTORIA II (diésel)	10,36	0,35	9,01	0,41	0,41	0,41	0,41

UNIDAD	Transporte	Lubricantes,	Agua	Manteni miento	Control	Servicios	TOTAL B5	TOTAL ctvs US\$/kW h	TOTA L B10	TOTAL ctvs US\$/kW h	TOTAL B15	TOTAL ctvs US\$/kW h	TOTAL B20	TOTAL ctvs US\$/kWh
ALVARO TINAJERO 1	0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,30	30,11	0,31	30,78	0,31	30,94	0,31	31,12
ALVARO TINAJERO 2	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,31	31,11	0,39	38,99	0,39	39,22	0,39	39,44

ANIBAL SANTOS 1	0,00	0,00	0	0,01	0,00	0,00	0,35	34,85	0,42	41,90	0,42	42,14	0,42	42,38
ANIBAL SANTOS 2	0,00	0,00	0	0,03	0,00	0,00	0,47	47,31	0,46	45,78	0,46	46,03	0,46	46,28
ANIBAL SANTOS 3	0,00	0,00	0	0,01	0,00	0,00	0,44	44,03	0,42	41,52	0,42	41,75	0,42	41,99
ANIBAL SANTOS 5	0,00	0,00	2E-05	0,00	0,00	0,00	0,37	37,01	0,44	43,78	0,44	44,03	0,44	44,29
ANIBAL SANTOS 6	0,00	0,00	2E-05	0,00	0,00	0,00	0,41	40,85	0,45	45,01	0,45	45,28	0,46	45,54
CATAMAYO 10	0,00	0,01	1E-04	0,02	0	0,00	0,38	37,81	0,37	36,50	0,37	36,70	0,37	36,90
CATAMAYO 2	0,00	0,01	1E-04	0,02	0	0,00	0,32	31,75	0,32	31,71	0,32	31,88	0,32	32,05
CATAMAYO 4	0,00	0,01	1E-04	0,03	0	0,00	0,39	38,80	0,38	37,66	0,38	37,86	0,38	38,06
CATAMAYO 5	0,00	0,01	1E-04	0,03	0	0,00	0,46	46,28	0,40	39,69	0,40	39,90	0,40	40,11
CATAMAYO 6	0,00	0,01	2E-04	0,02	0	0,00	0,43	43,48	0,32	31,95	0,32	32,13	0,32	32,30
CATAMAYO 7	0,00	0,01	2E-04	0,02	0	0,00	0,31	31,17	0,33	32,86	0,33	33,04	0,33	33,22
CATAMAYO 8	0,00	0,01	1E-04	0,02	0	0,00	0,47	46,83	0,36	36,10	0,36	36,30	0,36	36,50
CATAMAYO 9	0,00	0,01	1E-04	0,02	0	0,00	0,39	38,94	0,35	35,39	0,36	35,58	0,36	35,77
CELSO CASTELLANOS 1	0,00	0,02	0	0,06	0,00	0,00	0,43	42,56	0,43	42,76	0,43	42,96	0,43	43,16
CELSO CASTELLANOS 2	0,00	0,02	0	0,06	0,00	0,00	0,43	42,56	0,43	42,76	0,43	42,96	0,43	43,16
CELSO CASTELLANOS 3	0,00	0,02	0	0,06	0,00	0,00	0,43	42,56	0,43	42,76	0,43	42,96	0,43	43,16
CELSO CASTELLANOS 4	0,00	0,02	0	0,06	0,00	0,00	0,44	43,96	0,43	42,76	0,43	42,96	0,43	43,16
DAYUMA U1	0,01	0,02	0	0,04	0,00	0,00	0,42	42,30	0,43	42,51	0,43	42,72	0,43	42,92
DAYUMA U2	0,01	0,02	0	0,04	0,00	0,00	0,42	42,30	0,43	42,51	0,43	42,72	0,43	42,92
ELECTROQUIL 1	8E-06	0,00	0,0001 40393	0,02	0	0,00	0,36	36,06	0,32	32,15	0,32	32,32	0,32	32,50

ELECTROQUIL 2	8E-06	0,00	0,0001 40393	0,02	0	0,00	0,38	38,24	0,31	30,69	0,31	30,86	0,31	31,03
ELECTROQUIL 3	8E-06	0,00	0,0001 25378	0,02	0	0,00	0,32	32,09	0,31	31,50	0,32	31,67	0,32	31,84
ELECTROQUIL 4	8E-06	0,00	0,0001 40393	0,02	0	0,00	0,31	31,36	0,31	31,21	0,31	31,38	0,32	31,55
ENRIQUE GARCIA TG5	0	0,00	5E-05	0,00	0	0,00	0,31	30,63	0,37	37,03	0,37	37,24	0,37	37,46
G. ZEVALLOS TG4	0,00	0,00	0	0,01	0	0,00	0,34	34,38	0,42	42,39	0,43	42,63	0,43	42,88
ISLA PUNA	0,01	0,00	0	0,07	0,00	0,00	0,09	8,89	0,46	45,60	0,46	45,82	0,46	46,04
JIVINO I-1	0,00	0,02	0	0,06	0,00	0,00	0,44	43,95	0,44	44,16	0,44	44,37	0,45	44,57
JIVINO I-2	0,00	0,02	0	0,06	0,00	0,00	0,44	43,77	0,44	43,97	0,44	44,18	0,44	44,39
LA PROPICIA 3	0,00	0,00	0	0,02	0,00	0,00	0,44	43,86	0,35	35,30	0,35	35,50	0,36	35,69
LIMON	0,01	0,02	0	0,04	0,00	0,00	0,41	41,40	0,43	43,01	0,43	43,21	0,43	43,42
LLIGUA 1	0,00	0,00	0	0,01	0,00	0,00	0,34	34,40	0,39	38,58	0,39	38,79	0,39	39,01
LLIGUA 2	0,00	0,00	0	0,01	0,00	0,00	0,34	34,33	0,38	38,44	0,39	38,66	0,39	38,87
LORETO U1	0,01	0,02	0	0,04	0,00	0,00	0,42	42,15	0,42	42,36	0,43	42,57	0,43	42,77
LORETO U2	0,01	0,02	0	0,04	0,00	0,00	0,42	42,15	0,42	42,36	0,43	42,57	0,43	42,77
LULUNCOTO 11	0,01	0,01	2E-07	0,00	0,00	0,00	0,30	30,37	0,32	32,15	0,32	32,33	0,33	32,51
LULUNCOTO 12	0,01	0,01	2E-07	0,00	0,00	0,00	0,30	30,32	0,31	31,09	0,31	31,27	0,31	31,44
LULUNCOTO 13	0,01	0,01	2E-07	0,00	0,00	0,00	0,32	31,96	0,32	32,03	0,32	32,21	0,32	32,39
MACAS	0,01	0,02	0	0,04	0,00	0,00	0,42	42,46	0,43	42,67	0,43	42,88	0,43	43,08
MIRAFLORES 10	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,62	0,39	38,83	0,39	39,04	0,39	39,25
MIRAFLORES 11	0,00	0,01	0	0,01	0,00	0,00	0,41	40,90	0,30	29,51	0,30	29,66	0,30	29,82
MIRAFLORES 13	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,74	0,39	38,95	0,39	39,15	0,39	39,36
MIRAFLORES 14	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,63	0,39	38,84	0,39	39,04	0,39	39,25

MIRAFLORES 16	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,64	0,39	38,85	0,39	39,05	0,39	39,26
MIRAFLORES 18	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,64	0,39	38,85	0,39	39,05	0,39	39,26
MIRAFLORES 22	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,67	0,39	38,88	0,39	39,09	0,39	39,30
MIRAFLORES 7	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,38	37,69	0,38	37,90	0,38	38,10	0,38	38,31
MIRAFLORES 8	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	39,41	0,39	39,00	0,39	39,21	0,39	39,41
MIRAFLORES TG1	0,00	0,00	0	0,02	0,00	0,00	0,37	36,65	0,38	38,19	0,38	38,40	0,39	38,61
PAYAMINO	0,00	0,02	0	0,06	0,00	0,00	0,45	45,50	0,44	44,18	0,44	44,39	0,45	44,60
PEDERNALES 15	0,00	0,01	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,62	0,39	38,83	0,39	39,04	0,39	39,25
RIOBAMBA	0,00	0,00	3E-06	0,01	0	0,00	0,28	27,77	0,36	35,62	0,36	35,82	0,36	36,02
SANTA ROSA 1	0,01	0,00	0	0,02	0,00	0,00	0,48	47,73	0,48	47,99	0,48	48,25	0,49	48,51
SANTA ROSA 2	0,01	0,00	0	0,02	0,00	0,00	0,48	47,73	0,48	47,99	0,48	48,25	0,49	48,51
SANTA ROSA 3	0,01	0,00	0	0,02	0,00	0,00	0,39	38,52	0,48	47,99	0,48	48,25	0,49	48,51
VICTORIA II (diésel)	0,01	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,41	41,15	0,42	41,74	0,42	41,98	0,42	42,23

Energía generada por Centrales Termoelectricas

2014

<i>Unidad</i>	<i>Total Anual</i>		
	ENERGÍA kWh	CVP B5 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
AL. TINAJERO U1	157.369.307	0,31	\$ 48.154.720,63
AL. TINAJERO U1	50.564.603	0,39	\$ 19.603.230,33
AN. SANTOS U1	3.544.213	0,42	\$ 1.476.533,38
AN. SANTOS U2	2.431.334	0,46	\$ 1.106.839,96
AN. SANTOS U3	2.043.397	0,41	\$ 843.449,78
AN. SANTOS U5	140.755	0,44	\$ 61.260,46
AN. SANTOS U6	5.742.120	0,45	\$ 2.569.685,68
CATAMAYO U10	3.089.401	0,36	\$ 1.121.611,56
CATAMAYO U2	844	0,32	\$ 266,34
CATAMAYO U4	445.124	0,37	\$ 166.749,85
CATAMAYO U5	294.431	0,39	\$ 116.231,08
CATAMAYO U6	1.686.379	0,32	\$ 535.995,39
CATAMAYO U7	2.403.219	0,33	\$ 785.494,30
CATAMAYO U9	494.844	0,35	\$ 174.170,26
CELSO CASTELLANOS MC U1	1.556.356	0,43	\$ 662.390,99
CELSO CASTELLANOS MC U2	1.218.006	0,43	\$ 518.388,27
CELSO CASTELLANOS MC U3	432.071	0,43	\$ 183.891,05
CELSO CASTELLANOS MC U4	1.346.884	0,43	\$ 573.239,13
DAYUMA MC U1	1.718.430	0,42	\$ 726.907,06
ENRIQUE GARCÍA U1	321.761.637	0,37	\$ 118.440.264,81
ELECTROQUIL U1	76.683.481	0,32	\$ 24.514.508,23
ELECTROQUIL U2	79.876.065	0,31	\$ 24.380.723,23
ELECTROQUIL U3	80.171.292	0,31	\$ 25.112.747,02
ELECTROQUIL U4	43.421.627	0,31	\$ 13.477.973,22
G. ZEVALLOSTG TG4	16.479.103	0,42	\$ 6.945.532,94
ISLA PUNÁ MC U1	3.325.091	0,45	\$ 1.509.167,07

JIVINO 1 MC U1	438.978	0,44	\$ 192.935,33
JIVINO 1 MC U2	583.264	0,44	\$ 255.275,62
LA PROPICIA U3	2.182.103	0,35	\$ 766.196,48
LIMÓN MC U1	22.215	0,43	\$ 9.507,66
LLIGUA U1	25.212	0,38	\$ 9.671,47
LLIGUA U2	271.760	0,38	\$ 103.890,86
LORETO MC U1	2.347.125	0,42	\$ 989.329,91
MACAS MC U1	28.586	0,42	\$ 12.138,29
MIRAFLORES TG U1	19.974.998	0,38	\$ 7.587.370,99
MIRAFLORES U10	840.450	0,39	\$ 324.623,15
MIRAFLORES U11	11.945.106	0,29	\$ 3.506.090,92
MIRAFLORES U13	688.964	0,39	\$ 266.894,87
MIRAFLORES U14	833.716	0,39	\$ 322.051,05
MIRAFLORES U16	595.673	0,39	\$ 230.159,38
MIRAFLORES U18	601.477	0,39	\$ 232.402,22
MIRAFLORES U22	568.037	0,39	\$ 219.682,77
MIRAFLORES U8	585.722	0,39	\$ 227.206,50
PAYAMINO MC U1	457.136	0,44	\$ 201.027,31
S. ROSA U1	6.703.676	0,48	\$ 3.199.371,65
S. ROSA U2	6.584.078	0,48	\$ 3.142.292,96
S. ROSA U3	5.139.670	0,48	\$ 2.452.939,73
VICTORIA II U1 DIÉSEL	183.128.413	0,42	\$ 76.004.488,30
Energía generada por Centrales Termoeléctricas			

2014

<i>Unidad</i>	<i>Total Anual</i>		
	ENERGÍA kWh	CVP B10 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
AL. TINAJERO U1	157.369.307	0,31	\$ 48.432.469,50
AL. TINAJERO U2	50.564.603	0,39	\$ 19.716.652,91
AN. SANTOS U1	3.544.213	0,42	\$ 1.485.009,92
AN. SANTOS U2	2.431.334	0,46	\$ 1.112.960,31
AN. SANTOS U3	2.043.397	0,42	\$ 848.322,86

AN. SANTOS U5	140.755	0,44	\$ 61.619,13
AN. SANTOS U6	5.742.120	0,45	\$ 2.584.748,83
CATAMAYO U10	3.089.401	0,37	\$ 1.127.751,60
CATAMAYO U2	844	0,32	\$ 267,77
CATAMAYO U4	445.124	0,38	\$ 167.638,94
CATAMAYO U5	294.431	0,40	\$ 116.853,28
CATAMAYO U6	1.686.379	0,32	\$ 538.880,80
CATAMAYO U7	2.403.219	0,33	\$ 789.792,79
CATAMAYO U9	494.844	0,35	\$ 175.123,39
CELSO CASTELLANOS MC U1	1.556.356	0,43	\$ 665.493,88
CELSO CASTELLANOS MC U2	1.218.006	0,43	\$ 520.816,60
CELSO CASTELLANOS MC U3	432.071	0,43	\$ 184.752,46
CELSO CASTELLANOS MC U4	1.346.884	0,43	\$ 575.924,40
DAYUMA MC U1	1.718.430	0,43	\$ 730.475,82
ENRIQUE GARCÍA U1	321.761.637	0,37	\$ 119.135.121,79
ELECTROQUIL U1	76.683.481	0,32	\$ 24.650.138,86
ELECTROQUIL U2	79.876.065	0,31	\$ 24.516.600,25
ELECTROQUIL U3	80.171.292	0,31	\$ 25.250.918,23
ELECTROQUIL U4	43.421.627	0,31	\$ 13.551.989,23
G. ZEVALLOSTG TG4	16.479.103	0,42	\$ 6.985.677,33
ISLA PUNÁ MC U1	3.325.091	0,46	\$ 1.516.372,71
JIVINO 1 MC U1	438.978	0,44	\$ 193.846,98
JIVINO 1 MC U2	583.264	0,44	\$ 256.486,92
LA PROPICIA U3	2.182.103	0,35	\$ 770.379,58
LIMÓN MC U1	22.215	0,43	\$ 9.553,80
LLIGUA U1	25.212	0,39	\$ 9.725,97
LLIGUA U2	271.760	0,38	\$ 104.474,70
LORETO MC U1	2.347.125	0,42	\$ 994.204,32
MACAS MC U1	28.586	0,43	\$ 12.197,66
MIRAFLORES TG U1	19.974.998	0,38	\$ 7.628.854,21
MIRAFLORES U10	840.450	0,39	\$ 326.368,57
MIRAFLORES U11	11.945.106	0,30	\$ 3.524.696,23

MIRAFLORES U13	688.964	0,39	\$ 268.325,68
MIRAFLORES U14	833.716	0,39	\$ 323.782,47
MIRAFLORES U16	595.673	0,39	\$ 231.396,45
MIRAFLORES U18	601.477	0,39	\$ 233.651,34
MIRAFLORES U22	568.037	0,39	\$ 220.862,45
MIRAFLORES U8	585.722	0,39	\$ 228.422,90
PAYAMINO MC U1	457.136	0,44	\$ 201.976,67
S. ROSA U1	6.703.676	0,48	\$ 3.216.957,22
S. ROSA U2	6.584.078	0,48	\$ 3.159.564,79
S. ROSA U3	5.139.670	0,48	\$ 2.466.422,49
VICTORIA II U1 DIÉSEL	183.128.413	0,42	\$ 76.445.005,57

Costo de operación B10

Energía generada por Centrales Termoeléctricas			
2014			
Unidad	Total Anual		
	ENERGÍA kWh	CVP B15 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
AL. TINAJERO U1	157.369.307	0,31	\$ 48.710.218,37
AL. TINAJERO U2	50.564.603	0,39	\$ 19.830.075,48
AN. SANTOS U1	3.544.213	0,42	\$ 1.493.486,47
AN. SANTOS U2	2.431.334	0,46	\$ 1.119.080,66
AN. SANTOS U3	2.043.397	0,42	\$ 853.195,93
AN. SANTOS U5	140.755	0,44	\$ 61.977,80
AN. SANTOS U6	5.742.120	0,45	\$ 2.599.811,97

CATAMAYO U10	3.089.401	0,37	\$ 1.133.891,64
CATAMAYO U2	844	0,32	\$ 269,21
CATAMAYO U4	445.124	0,38	\$ 168.528,03
CATAMAYO U5	294.431	0,40	\$ 117.475,48
CATAMAYO U6	1.686.379	0,32	\$ 541.766,22
CATAMAYO U7	2.403.219	0,33	\$ 794.091,28
CATAMAYO U9	494.844	0,36	\$ 176.076,53
CELSO CASTELLANOS MC U1	1.556.356	0,43	\$ 668.596,77
CELSO CASTELLANOS MC U2	1.218.006	0,43	\$ 523.244,92
CELSO CASTELLANOS MC U3	432.071	0,43	\$ 185.613,87
CELSO CASTELLANOS MC U4	1.346.884	0,43	\$ 578.609,67
DAYUMA MC U1	1.718.430	0,43	\$ 734.044,58
ENRIQUE GARCÍA U1	321.761.637	0,37	\$ 119.829.978,76
ELECTROQUIL U1	76.683.481	0,32	\$ 24.785.769,50
ELECTROQUIL U2	79.876.065	0,31	\$ 24.652.477,27
ELECTROQUIL U3	80.171.292	0,32	\$ 25.389.089,44
ELECTROQUIL U4	43.421.627	0,31	\$ 13.626.005,25
G. ZEVALLOSTG TG4	16.479.103	0,43	\$ 7.025.821,72
ISLA PUNÁ MC U1	3.325.091	0,46	\$ 1.523.578,35
JIVINO 1 MC U1	438.978	0,44	\$ 194.758,63
JIVINO 1 MC U2	583.264	0,44	\$ 257.698,21
LA PROPICIA U3	2.182.103	0,35	\$ 774.562,69
LIMÓN MC U1	22.215	0,43	\$ 9.599,93
LLIGUA U1	25.212	0,39	\$ 9.780,46
LLIGUA U2	271.760	0,39	\$ 105.058,54
LORETO MC U1	2.347.125	0,43	\$ 999.078,73
MACAS MC U1	28.586	0,43	\$ 12.257,03

MIRAFLORES TG U1	19.974.998	0,38	\$ 7.670.337,43
MIRAFLORES U10	840.450	0,39	\$ 328.113,98
MIRAFLORES U11	11.945.106	0,30	\$ 3.543.301,54
MIRAFLORES U13	688.964	0,39	\$ 269.756,49
MIRAFLORES U14	833.716	0,39	\$ 325.513,90
MIRAFLORES U16	595.673	0,39	\$ 232.633,52
MIRAFLORES U18	601.477	0,39	\$ 234.900,47
MIRAFLORES U22	568.037	0,39	\$ 222.042,12
MIRAFLORES U8	585.722	0,39	\$ 229.639,31
PAYAMINO MC U1	457.136	0,44	\$ 202.926,03
S. ROSA U1	6.703.676	0,48	\$ 3.234.542,79
S. ROSA U2	6.584.078	0,48	\$ 3.176.836,62
S. ROSA U3	5.139.670	0,48	\$ 2.479.905,24
VICTORIA II U1 DIÉSEL	183.128.413	0,42	\$ 76.885.522,85

Costo de operación B15

Energía generada por Centrales Termoelectricas			
2014			
Unidad	Total Anual		
	ENERGÍA kWh	CVP B20 US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
AL. TINAJERO U1	157.369.307	0,31	\$ 48.987.967,24
AL. TINAJERO U2	50.564.603	0,39	\$ 19.943.498,06
AN. SANTOS U1	3.544.213	0,42	\$ 1.501.963,02
AN. SANTOS U2	2.431.334	0,46	\$ 1.125.201,01
AN. SANTOS U3	2.043.397	0,42	\$ 858.069,01

AN. SANTOS U5	140.755	0,44	\$ 62.336,46
AN. SANTOS U6	5.742.120	0,46	\$ 2.614.875,11
CATAMAYO U10	3.089.401	0,37	\$ 1.140.031,69
CATAMAYO U2	844	0,32	\$ 270,64
CATAMAYO U4	445.124	0,38	\$ 169.417,12
CATAMAYO U5	294.431	0,40	\$ 118.097,68
CATAMAYO U6	1.686.379	0,32	\$ 544.651,64
CATAMAYO U7	2.403.219	0,33	\$ 798.389,77
CATAMAYO U9	494.844	0,36	\$ 177.029,67
CELSO CASTELLANOS MC U1	1.556.356	0,43	\$ 671.699,65
CELSO CASTELLANOS MC U2	1.218.006	0,43	\$ 525.673,24
CELSO CASTELLANOS MC U3	432.071	0,43	\$ 186.475,29
CELSO CASTELLANOS MC U4	1.346.884	0,43	\$ 581.294,93
DAYUMA MC U1	1.718.430	0,43	\$ 737.613,34
ENRIQUE GARCÍA U1	321.761.637	0,37	\$ 120.524.835,74
ELECTROQUIL U1	76.683.481	0,32	\$ 24.921.400,13
ELECTROQUIL U2	79.876.065	0,31	\$ 24.788.354,28
ELECTROQUIL U3	80.171.292	0,32	\$ 25.527.260,64
ELECTROQUIL U4	43.421.627	0,32	\$ 13.700.021,26
G. ZEVALLOSTG TG4	16.479.103	0,43	\$ 7.065.966,12
ISLA PUNÁ MC U1	3.325.091	0,46	\$ 1.530.784,00
JIVINO 1 MC U1	438.978	0,45	\$ 195.670,28
JIVINO 1 MC U2	583.264	0,44	\$ 258.909,51
LA PROPICIA U3	2.182.103	0,36	\$ 778.745,79
LIMÓN MC U1	22.215	0,43	\$ 9.646,07
LLIGUA U1	25.212	0,39	\$ 9.834,95
LLIGUA U2	271.760	0,39	\$ 105.642,38
LORETO MC U1	2.347.125	0,43	\$ 1.003.953,14

MACAS MC U1	28.586	0,43	\$ 12.316,39
MIRAFLORES TG U1	19.974.998	0,39	\$ 7.711.820,65
MIRAFLORES U10	840.450	0,39	\$ 329.859,39
MIRAFLORES U11	11.945.106	0,30	\$ 3.561.906,86
MIRAFLORES U13	688.964	0,39	\$ 271.187,30
MIRAFLORES U14	833.716	0,39	\$ 327.245,32
MIRAFLORES U16	595.673	0,39	\$ 233.870,59
MIRAFLORES U18	601.477	0,39	\$ 236.149,59
MIRAFLORES U22	568.037	0,39	\$ 223.221,80
MIRAFLORES U8	585.722	0,39	\$ 230.855,71
PAYAMINO MC U1	457.136	0,45	\$ 203.875,39
S. ROSA U1	6.703.676	0,49	\$ 3.252.128,35
S. ROSA U2	6.584.078	0,49	\$ 3.194.108,45
S. ROSA U3	5.139.670	0,49	\$ 2.493.387,99
VICTORIA II U1 DIÉSEL	183.128.413	0,42	\$ 77.326.040,12

Costo de operación B20

UNIDAD	Rendimiento con Diesel (kWh/gal)	Costo Combustible con Diesel (US\$/gal)	Rendimiento con Biodiesel (kWh/gal)	Costo Combustible Mezcla B5 (US\$/gal)	Costo Combustible Mezcla B10 (US\$/gal)	Costo Combustible Mezcla B15 (US\$/gal)	Costo Combustible Mezcla B20 (US\$/gal)
ALVARO TINAJERO 1	14,12	0,26	12,28	0,30	0,30	0,30	0,30
ALVARO TINAJERO 2	11,11	0,33	9,67	0,38	0,38	0,38	0,38
ANIBAL SANTOS 1	10,42	0,35	9,07	0,40	0,41	0,41	0,41
ANIBAL SANTOS 2	9,90	0,37	8,61	0,42	0,43	0,43	0,43
ANIBAL SANTOS 3	10,45	0,35	9,09	0,40	0,40	0,41	0,41
ANIBAL SANTOS 5	9,78	0,37	8,51	0,43	0,43	0,43	0,44
ANIBAL SANTOS 6	9,50	0,38	8,27	0,44	0,44	0,45	0,45
CATAMAYO 10	12,54	0,29	10,91	0,33	0,34	0,34	0,34
CATAMAYO 2	14,67	0,25	12,76	0,29	0,29	0,29	0,29
CATAMAYO 4	12,48	0,29	10,85	0,34	0,34	0,34	0,34
CATAMAYO 5	11,79	0,31	10,26	0,36	0,36	0,36	0,36
CATAMAYO 6	14,57	0,25	12,67	0,29	0,29	0,29	0,29
CATAMAYO 7	13,93	0,26	12,12	0,30	0,30	0,30	0,31
CATAMAYO 8	12,62	0,29	10,98	0,33	0,33	0,34	0,34
CATAMAYO 9	12,94	0,28	11,26	0,32	0,33	0,33	0,33
CELSO CASTELLANOS 1	12,50	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34
CELSO CASTELLANOS 2	12,50	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34
CELSO CASTELLANOS 3	12,50	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34
CELSO CASTELLANOS 4	12,50	0,29	10,88	0,34	0,34	0,34	0,34
DAYUMA U1	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
DAYUMA U2	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
ELECTROQUIL 1	14,09	0,26	12,26	0,30	0,30	0,30	0,30
ELECTROQUIL 2	14,65	0,25	12,75	0,29	0,29	0,29	0,29
ELECTROQUIL 3	14,46	0,25	12,58	0,29	0,29	0,29	0,30
ELECTROQUIL 4	14,62	0,25	12,72	0,29	0,29	0,29	0,29
ENRIQUE GARCIA TG5	11,54	0,31	10,04	0,36	0,37	0,37	0,37
G. ZEVALLOS TG4	10,23	0,35	8,90	0,41	0,41	0,42	0,42
ISLA PUNA	11,50	0,32	10,01	0,36	0,37	0,37	0,37
JIVINO I-1	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
JIVINO I-2	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LA PROPICIA 3	13,00	0,28	11,31	0,32	0,32	0,33	0,33
LIMON	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LLIGUA 1	11,53	0,31	10,03	0,36	0,37	0,37	0,37
LLIGUA 2	11,6	0,31	10,09	0,36	0,36	0,37	0,37
LORETO U1	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LORETO U2	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
LULUNCOTO 11	13,85	0,26	12,05	0,30	0,30	0,31	0,31
LULUNCOTO 12	14,35	0,25	12,48	0,29	0,29	0,30	0,30
LULUNCOTO 13	13,90	0,26	12,09	0,30	0,30	0,31	0,31
MACAS	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 10	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 11	16,00	0,23	13,92	0,26	0,26	0,27	0,27
MIRAFLORES 13	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36
MIRAFLORES 14	12,00	0,30	10,44	0,35	0,35	0,35	0,36

Costo de Operación de Unidades generadoras con diésel subsidiado.

Energía Generada por tipo de productor (kWh)			
2014			
<i>Unidad</i>	<i>Total Anual</i>		
	kWh	US\$/kWh	COSTO OPERACIÓN CENTRAL US\$
AL. TINAJERO U1	157.369.307	0,07	\$ 10.517.032,48
AL. TINAJERO U1	50.564.603	0,08	\$ 4.233.362,13
AN. SANTOS U1	3.544.213	0,09	\$ 327.878,10
AN. SANTOS U2	2.431.334	0,11	\$ 277.472,44
AN. SANTOS U3	2.043.397	0,09	\$ 183.100,01
AN. SANTOS U5	140.755	0,09	\$ 12.657,52
AN. SANTOS U6	5.742.120	0,09	\$ 528.482,46
CATAMAYO U10	3.089.401	0,09	\$ 289.575,68
CATAMAYO U2	844	0,09	\$ 71,98
CATAMAYO U4	445.124	0,10	\$ 46.269,84
CATAMAYO U5	294.431	0,11	\$ 31.916,89
CATAMAYO U6	1.686.379	0,09	\$ 144.993,15
CATAMAYO U7	2.403.219	0,08	\$ 203.007,23
CATAMAYO U9	494.844	0,09	\$ 45.011,09
CELSO CASTELLANOS MC U1	1.556.356	0,16	\$ 241.919,61
CELSO CASTELLANOS MC U2	1.218.006	0,16	\$ 189.326,68
CELSO CASTELLANOS MC U3	432.071	0,16	\$ 67.161,01
CELSO CASTELLANOS MC U4	1.346.884	0,16	\$ 209.359,41
DAYUMA MC U1	1.718.430	0,14	\$ 243.305,01
E. GARCÍA U1	321.761.637	0,08	\$ 24.280.349,89

ELECTROQUIL U1	76.683.481	0,08	\$ 6.135.230,86
ELECTROQUIL U2	79.876.065	0,07	\$ 5.968.058,65
ELECTROQUIL U3	80.171.292	0,08	\$ 6.389.197,17
ELECTROQUIL U4	43.421.627	0,08	\$ 3.448.079,71
G. ZEVALLOSTG TG4	16.479.103	0,09	\$ 1.505.575,11
ISLA PUNÁ MC U1	3.325.091	0,16	\$ 532.732,16
JIVINO 1 MC U1	438.978	0,16	\$ 69.397,75
JIVINO 1 MC U2	583.264	0,16	\$ 91.133,00
LA PROPICIA U3	2.182.103	0,09	\$ 199.344,78
LIMÓN MC U1	22.215	0,15	\$ 3.255,87
LLIGUA U1	25.212	0,09	\$ 2.287,19
LLIGUA U2	271.760	0,09	\$ 24.774,58
LORETO MC U1	2.347.125	0,14	\$ 328.799,76
MACAS MC U1	28.586	0,14	\$ 4.093,46
MIRAFLORES TG U1	19.974.998	0,10	\$ 1.965.989,08
MIRAFLORES U10	840.450	0,10	\$ 88.102,86
MIRAFLORES U11	11.945.106	0,08	\$ 984.888,99
MIRAFLORES U13	688.964	0,11	\$ 73.005,92
MIRAFLORES U14	833.716	0,10	\$ 87.425,92
MIRAFLORES U16	595.673	0,10	\$ 62.524,68
MIRAFLORES U18	601.477	0,10	\$ 63.133,96
MIRAFLORES U22	568.037	0,11	\$ 59.825,41
MIRAFLORES U8	585.722	0,11	\$ 62.372,02
PAYAMINO MC U1	457.136	0,16	\$ 72.379,72
S. ROSA U1	6.703.676	0,12	\$ 816.355,35
S. ROSA U2	6.584.078	0,12	\$ 801.791,08
S. ROSA U3	5.139.670	0,12	\$ 625.894,92
VICTORIA II U1 DIÉSEL	183.128.413	0,09	\$ 16.310.089,86

Costo variable de producción por Unidad generadora con diferentes combustibles

UNIDAD GENERACIÓN TÉRMICA	CVP US\$/kWh diésel subsidiado	CVP US\$/kWh diésel sin subsidiado	CVP US\$/kWh B5	CVP US\$/kWh B5	CVP US\$/kWh B5	CVP US\$/kWh B5
ALVARO TINAJERO 1	0,067	0,209	0,306	0,308	0,310	0,311
ALVARO TINAJERO 2	0,084	0,265	0,388	0,390	0,392	0,394
ANIBAL SANTOS 1	0,093	0,285	0,417	0,419	0,421	0,424
ANIBAL SANTOS 2	0,114	0,317	0,455	0,458	0,460	0,463
ANIBAL SANTOS 3	0,090	0,282	0,413	0,415	0,418	0,420
ANIBAL SANTOS 5	0,090	0,295	0,435	0,438	0,440	0,443
ANIBAL SANTOS 6	0,092	0,304	0,448	0,450	0,453	0,455
CATAMAYO 10	0,094	0,254	0,363	0,365	0,367	0,369
CATAMAYO 2	0,085	0,222	0,315	0,317	0,319	0,321
CATAMAYO 4	0,104	0,265	0,375	0,377	0,379	0,381
CATAMAYO 5	0,108	0,279	0,395	0,397	0,399	0,401
CATAMAYO 6	0,086	0,224	0,318	0,320	0,321	0,323
CATAMAYO 7	0,084	0,229	0,327	0,329	0,330	0,332
CATAMAYO 8	0,091	0,251	0,359	0,361	0,363	0,365
CATAMAYO 9	0,091	0,246	0,352	0,354	0,356	0,358
CELSE CASTELLANOS 1	0,155	0,316	0,426	0,428	0,430	0,432
CELSE CASTELLANOS 2	0,155	0,316	0,426	0,428	0,430	0,432
CELSE CASTELLANOS 3	0,155	0,316	0,426	0,428	0,430	0,432
CELSE CASTELLANOS 4	0,155	0,316	0,426	0,428	0,430	0,432
DAYUMA U1	0,142	0,309	0,423	0,425	0,427	0,429
DAYUMA U2	0,142	0,309	0,423	0,425	0,427	0,429
ELECTROQUIL 1	0,080	0,223	0,320	0,321	0,323	0,325
ELECTROQUIL 2	0,075	0,212	0,305	0,307	0,309	0,310
ELECTROQUIL 3	0,080	0,219	0,313	0,315	0,317	0,318
ELECTROQUIL 4	0,079	0,217	0,310	0,312	0,314	0,316

ENRIQUE GARCIA TG5	0,075	0,250	0,368	0,370	0,372	0,375
G. ZEVALLOS TG4	0,091	0,288	0,421	0,424	0,426	0,429
ISLA PUNA	0,160	0,335	0,454	0,456	0,458	0,460
JIVINO I-1	0,158	0,326	0,440	0,442	0,444	0,446
JIVINO I-2	0,156	0,324	0,438	0,440	0,442	0,444
LA PROPICIA 3	0,091	0,246	0,351	0,353	0,355	0,357
LIMON	0,147	0,314	0,428	0,430	0,432	0,434
LLIGUA 1	0,091	0,265	0,384	0,386	0,388	0,390
LLIGUA 2	0,091	0,264	0,382	0,384	0,387	0,389
LORETO U1	0,140	0,308	0,422	0,424	0,426	0,428
LORETO U2	0,140	0,308	0,422	0,424	0,426	0,428
LULUNCOTO 11	0,076	0,221	0,320	0,321	0,323	0,325
LULUNCOTO 12	0,074	0,214	0,309	0,311	0,313	0,314
LULUNCOTO 13	0,076	0,220	0,319	0,320	0,322	0,324
MACAS	0,143	0,311	0,425	0,427	0,429	0,431
MIRAFLORES 10	0,105	0,272	0,386	0,388	0,390	0,392
MIRAFLORES 11	0,082	0,208	0,294	0,295	0,297	0,298
MIRAFLORES 13	0,106	0,273	0,387	0,389	0,392	0,394
MIRAFLORES 14	0,105	0,272	0,386	0,388	0,390	0,393
MIRAFLORES 16	0,105	0,272	0,386	0,388	0,391	0,393
MIRAFLORES 18	0,105	0,272	0,386	0,388	0,391	0,393
MIRAFLORES 22	0,105	0,273	0,387	0,389	0,391	0,393
MIRAFLORES 7	0,095	0,263	0,377	0,379	0,381	0,383
MIRAFLORES 8	0,106	0,274	0,388	0,390	0,392	0,394
MIRAFLORES TG1	0,098	0,266	0,380	0,382	0,384	0,386
PAYAMINO	0,158	0,326	0,440	0,442	0,444	0,446
PEDERNALES 15	0,105	0,272	0,386	0,388	0,390	0,392
RIOBAMBA	0,082	0,244	0,354	0,356	0,358	0,360
SANTA ROSA 1	0,122	0,333	0,477	0,480	0,483	0,485
SANTA ROSA 2	0,122	0,333	0,477	0,480	0,483	0,485
SANTA ROSA 3	0,122	0,333	0,477	0,480	0,483	0,485
VICTORIA II (diésel)	0,089	0,283	0,415	0,417	0,420	0,422

EMPRESA	CENTRAL	ene-13	feb-13	mar-13	abr-13	may-13	jun-13	jul-13	ago-13	sep-13	oct-13	nov-13	dic-13	ene-14	feb-14	mar-14	abr-14	may-14	jun-14	jul-14	ago-14	sep-14	oct-14
DIESEL TIPO 2 (Galones)		5.710.881	4.103.122	3.505.161	12.663.518	7.463.912	2.487.578	1.967.931	3.578.071	8.545.853	12.190.536	20.016.260	19.079.629	12.195.444	16.757.882	10.271.163	9.901.766	5.899.057	3.672.977	3.720.465	1.669.925	10.915.056	5.747.065
CELEC ELECTROGUAYAS	TV 2-3 G.Zevallos	0	0	0	0	0	0	0	0	701	140	2.672	19.355	3.626	3.777	10.663	29.286	874	163	1.295	6.907	2.794	3.427
CELEC ELECTROGUAYAS	Trinitaria	0	0	0	0	0	0	0	5.196	3.655	1.775	9.832	1.004	5.643	350	4.482	4.015	427	211	7.045	975	817	1.813
CELEC ELECTROGUAYAS	Dr. Enrique García	430.479	0	0	3.821.686	2.980.939	37.124	0	0	3.068.332	5.362.251	4.235.273	5.125.105	4.839.219	2.690.124	2.810.142	3.112.157	3.005.810	0	697.394	2.806	4.951.529	0
CELEC ELECTROGUAYAS	TG4 G.Zevallos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	368.525	144.244	122.751	51.253	27.410	34.205	38.275	38.534	131.184	0
CELEC ELECTROGUAYAS	Santa Elena II	71.630	45.765	89.366	30.747	39.722	123.413	140.544	170.821	52.274	27.955	29.963	41.759	26.443	23.289	57.651	124.548	111.434	114.857	129.270	99.555	64.739	50.235
CELEC ELECTROGUAYAS	Santa Elena III	23.287	3.542	9.014	2.679	6.965	0	8.036	22.213	4.429	3.530	3.202	3.994	3.036	2.020	2.020	47.223	16.239	17.300	12.009	11.517	15.243	17.679
CELEC - TERMOESMERALDAS	Esmeraldas	3.462	763	7.472	8.002	0	137	295	0	1.162	0	30.929	5.041	285	372	98	8.646	7.587	215	176	6.621	0	0
CELEC - TERMOESMERALDAS	Esmeraldas II													0	0	321.234	120.245	0	39.753	39.753	121.419	58.325	32.501
CELEC - TERMOESMERALDAS	La Propicia 1-2	85.718	13.261	21.885	12.117	10.015	3.501	881	4.824	47.467	79.556	87.936	31.117	12.433	5.719	11.070	11.801	6.636	5.140	4.275	1.423	6.399	24.860
CELEC - TERMOESMERALDAS	La Propicia 3													12.433	40.863	12.363	26.648	3.827	0	1.963	0	0	4.633
CELEC - TERMOESMERALDAS	Miraflores U11-U12	84.036	34.371	35.548	131.624	59.326	21.182	21.928	49.658	138.100	193.977	419.174	310.420	28.774	40.990	41.868	40.920	16.842	35.274	22.807	15.650	22.240	11.216
CELEC - TERMOESMERALDAS	Miraflores													112.632	219.881	94.258	68.692	35.763	37.706	11.136	2.093	74.606	113.168
CELEC - TERMOESMERALDAS	Pedernales	9.788	1.512	5.506	32.847	379	11.647	2.970	7.986	11.493	22.613	93.823	55.595	6.743	33.863	17.645	12.218	10.816	7.324	6.000	3.400	2.413	6.246
CELEC - TERMOESMERALDAS	Miraflores TG1	194.441	8.419	0	486.330	103.819	112.963	0	54.716	228.015	629.789	805.982	517.579	233.556	586.208	110.698	47.220	30.640	31.046	39.348	0	66.066	94.962
CELEC - TERMOESMERALDAS	Manta II	16.115	11.028	13.673	4.047	8.853	23.101	24.603	19.995	4.950	4.411	34.971	32.118	11.875	2.583	4.888	7.027	15.852	22.931	25.274	17.071	1.808	10.974
CELEC - TERMOESMERALDAS	Jaramijó	52.024	46.486	73.501	23.305	33.559	94.611	124.055	103.124	20.784	29.063	70.226	65.825	35.799	39.353	43.668	82.650	109.601	168.326	107.076	59.303	26.032	23.745
CELEC - TERMOESMERALDAS	Cuapopolo	51.594	42.793	52.797	48.611	68.988	26.538	69.320	46.633	58.083	58.723	53.958	64.131	69.612	68.444	94.048	75.963	81.400	66.102	81.327	56.677	21.309	4.262
CELEC TERMOPICHINCHA	Sra. Rosa	341.256	1.186.913	874.782	299.637	59.880	80.505	129.582	206.065	690.214	1.252.699	1.996.799	1.016.565	117.544	819.621	190.163	293.026	54.550	57.567	56.023	7.601	123.120	49.478
CELEC TERMOPICHINCHA	Puná	22.722	21.520	21.823	21.442	19.021	18.413	18.426	18.742	19.094	19.694	19.986	22.164	21.867	19.991	22.787	21.587	22.809	21.904	22.370	21.769	20.866	22.013
CELEC TERMOPICHINCHA	Quevedo II	255.307	508.791	449.733	465.355	321.799	447.211	488.485	277.445	419.976	343.078	521.144	329.861	268.954	132.673	286.964	545.548	308.430	291.405	248.774	177.948	209.887	216.364
CELEC TERMOPICHINCHA	Jivino III	853	889	1.983	1.701	627	260	1.012	1.550	7.806	984	1.351	10.134	7.872	4.460	17.265	76.276	54.232	60.359	67.489	97.033	131.725	86.357
CELEC TERMOPICHINCHA	Jivino II	11.530	8.277	6.859	4.875	7.426	4.743	6.326	6.993	5.355	992	6.894	11.796	4.872	6.659	9.872	9.502	26.679	8.124	12.528	16.077	11.547	10.248
CELEC TERMOPICHINCHA	Jivino I	1.509	241	1.963	8.711	141	28	5.689	1.195	18.661	298	16.060	5.987	14.847	34.625	6.596	12.217	13.679	1.535	1.022	3.584	174	43
CELEC TERMOPICHINCHA	Celso Castellanos	103.497	86.080	99.719	95.952	95.983	68.323	89.855	90.094	140.137	119.306	103.964	98.592	69.072	41.015	39.728	41.782	48.230	25.990	24.961	28.394	20.771	7.301
CELEC TERMOPICHINCHA	Pavamino	4.023	588	7.845	5.959	1.732	0	0	763	9.824	10.757	47.649	5.809	2.223	6.374	2.982	685	2.162	977	9.512	544	5.060	2.953
CELEC TERMOPICHINCHA	Loreto										7.746	15.806	19.088	17.617	14.123	15.105	19.769	12.081	12.299	16.032	15.877	19.210	20.307
CELEC TERMOPICHINCHA	Dayama												1.145	9.969	10.411	12.066	6.071	6.622	11.093	8.128	11.315	17.005	
ELECAUSTRO	El Descanso	34.098	19.413	45.309	47.754	35.605	38.955	36.789	47.648	36.808	42.096	30.857	45.786	52.227	38.553	46.631	46.820	29.575	40.227	41.200	41.138	63.234	12.958
ELECTRICA GUAYAQUIL	A.Santos	317.773	41.343	65.706	855.310	340.399	81.572	82.556	120.573	62.361	890.140	1.316.949	944.268	233.906	808.453	199.211	84.409	10.126	19.444	21.942	8.438	55.961	192.831
ELECTRICA GUAYAQUIL	A.Tinjero	978.448	742.199	556.075	2.793.959	2.094.387	549.419	190.480	267.490	994.334	0	871.398	3.457.388	2.602.713	2.977.560	2.305.672	2.149.840	721.691	868.632	613.279	152.626	2.121.215	1.875.192
ELECTROQUIL	Electroquil	1.013.434	891.865	865.273	2.428.993	873.039	565.356	371.391	697.570	1.511.233	2.665.918	4.770.494	2.491.652	1.529.893	3.402.766	1.214.565	2.101.100	742.732	1.131.153	482.285	465.173	1.896.982	1.316.426
INTERVISATRADE	Victoria II	1.335.464	193.237	0	645.866	0	0	0	1.148.243	722.483	0	3.913.164	3.954.204	1.548.270	3.979.390	1.820.695	295.807	91.195	325.424	652.545	0	575.020	1.146.735
QUITO	G.Hernández	111.577	102.306	104.075	117.757	116.684	77.121	44.234	90.125	83.734	105.773	109.897	109.904	109.272	108.245	132.521	117.659	134.742	110.969	109.495	71.073	115.890	145.378
QUITO	Luluncoto	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LAFARGE C.S.ALEGRE	Cementos Selva Alegre	46.102	40.531	29.515	53.556	59.263	42.635	51.018	44.592	35.768	48.623	48.249	54.290	52.406	85.426	59.021	60.845	62.921	56.370	57.544	56.621	60.598	8.700
TERMOGUAYAS	Keppel	24.203	15.151	18.296	25.652	31.693	28.172	34.768	40.508	45.557	37.233	42.800	41.726	45.975	27.096	41.537	39.611	35.752	44.561	33.499	42.051	49.074	33.102
GENEROCA	Generadora Rocafuerte	3.432	4.249	6.686	1.176	2.929	6.521	7.063	7.125	3.868	2.576	2.469	2.353	2.854	2.732	7.762	8.529	7.131	8.958	8.700	9.781	3.834	12.764
AMBATO	Ambato	1.958	0	1.702	8.078	284	0	0	0	489	3.392	20.106	28.779	4.346	14.276	0	0	0	0	0	0	0	0
REGIONAL SUR	Catamayo	81.120	31.589	39.055	179.789	89.456	24.127	17.623	26.184	98.705	225.448	282.285	155.096	76.636	136.587	60.636	22.679	9.266	6.699	9.819	2.376	66.720	40.004

Consumo Diésel en Centrales Termoelectricas