

001902

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Factibilidad técnica y económica del desarrollo de biodiesel
a partir de aceites vegetales usados en una industria
empacadora de alimentos

BIBLIOTECA
DE LA
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Trabajo de investigación presentado por Paul Alberto Chinchilla Lee para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala
2004

Factibilidad técnica y económica del desarrollo de biodiesel
a partir de aceites vegetales usados en una industria
empacadora de alimentos

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

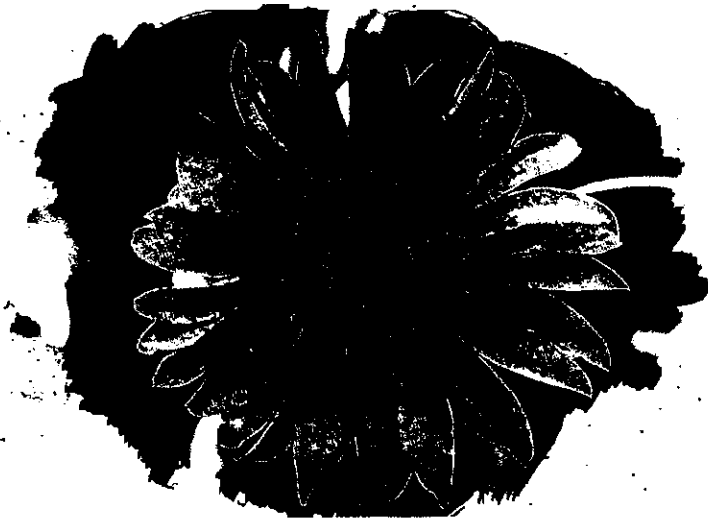
Facultad de Ciencias y Humanidades

Factibilidad técnica y económica del desarrollo de biodiesel
a partir de aceites vegetales usados en una industria
empacadora de alimentos

Trabajo de investigación presentado por Paul Alberto Chinchilla Lee para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala
2004

*Dedico este trabajo de graduación
a Dios por darme la vida
a la Virgen María por su amor
a mi papá Paúl por su paciencia y ejemplo
a mi mamá Olga por su apoyo siempre incondicional
a mi hermana Katy por su comprensión y cariño
a mi hermana Paola por sus consejos y cariño también
a mi hermanito Juan Diego por su alegría
a todos mis familiares, maestros y amigos
y, finalmente,
a la empresa que proporcionó los medios necesarios.
Muchas gracias.*



PREFACIO

Cursar la carrera de Ingeniería Mecánica permite conocer un amplio campo de trabajo con múltiples aplicaciones e investigaciones para estudios y trabajos de graduación. Personalmente me atraen los estudios sobre nuevas fuentes de energía para el movimiento de maquinaria por varias razones, como su agotamiento, contaminación, disponibilidad, costos, etc. Durante el curso de Generación de Potencia uno de los temas de estudio fue Celdas de Combustible, lo cual me motivó a investigar sobre su desarrollo y construcción. Es un tema innovador que actualmente está siendo investigado y desarrollado por grandes compañías extranjeras. Desafortunadamente en nuestro país es difícil trabajar con esta tecnología por sus altos costos económicos.

Con esta inquietud supe de una empresa de alimentos de Guatemala que tiene la iniciativa de un proyecto sobre la elaboración de biodiesel. Agradezco a las personas que me permitieron entrar a la empresa, así como a aquellas que me apoyaron y colaboraron con este trabajo de investigación, especialmente, a Mercy de Asturias, Gerente General, a Mauricio Enríquez, del área de mantenimiento, y a Yovani Ramos, Katy Chinchilla y Joel Ramírez, del área de investigación y desarrollo. He de aclarar que la idea del proyecto de desarrollar biodiesel a partir de aceites vegetales usados surgió por parte de la empresa. Por ello, me siento bastante satisfecho de poder formar parte de este proyecto.

Deseo con este trabajo contribuir a la iniciativa y a la exploración de las nuevas formas de energía, porque al potenciar la producción de los biocombustibles se favorece en redistribuir la riqueza y en minimizar la dependencia de los combustibles fósiles. El combustible biodiesel se enmarca bastante bien para estos propósitos y da la posibilidad a la agroindustria guatemalteca de sumar un nuevo papel, aparte del sostenimiento de la balanza comercial.

Finalmente, agradezco al los ingenieros José Joaquín Garoz y Carlos Poitevin, catedráticos de la Universidad del Valle de Guatemala, por su asesoría y apoyo. Además a los ingenieros Mayra Villatoro y Julio Villacinda, encargados del área de laboratorios del Ministerio de Energía y Minas, quienes también cooperaron en este trabajo, proporcionándome valiosa información y ayuda para los análisis de las muestras de biodiesel.

RESUMEN

El proyecto consistió en la elaboración de muestras de biodiesel a partir de aceites vegetales usados en una industria de alimentos por medio de una reacción química denominada transesterificación. La finalidad del proyecto es determinar la posibilidad, tanto técnica como económica, del desarrollo de dicho combustible. Para ello se analizaron las principales propiedades fisicoquímicas de las muestras de biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol nuevo y usado, así como de muestras con 50% biodiesel y 50% diesel, y 20% biodiesel y 80% diesel. Con estos resultados se puede determinar si el biocombustible puede ser empleado en motores diesel sin tener que modificar las características del mismo.

La primera parte de este trabajo da una explicación de las energías renovables, de los biocombustibles y del biodiesel. Se desarrollan las principales características de estos temas de tal forma que se pueda tener una idea lo suficientemente clara de ellos. Además, se incluye un capítulo con los aspectos relacionados con la seguridad industrial, ya que el experimento del proyecto implica trabajar con sustancias químicas potencialmente peligrosas que demandan formalidad en el trabajo.

Después se hace la descripción del método que se utilizó en la elaboración de las muestras de biodiesel. Seguidamente, se presentan los resultados de análisis de dichas muestras y, a partir de estos resultados, se establece la posibilidad técnica de poder emplear el método como base para desarrollar el biocombustible a mayor escala con el fin de su utilización en motores diesel. Finalmente, se desarrolla una guía metodológica que incluye un estudio técnico y económico sobre la propuesta de una planta de biodiesel.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO	v
RESUMEN	vi
CONTENIDO	vii
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
A. Objetivos	3
II. ENERGÍAS RENOVABLES	4
A. Introducción	4
B. Descripción de las energías renovables	5
C. Principales tipos de energías renovables	5
D. Ventajas de las energías renovables	8
E. Recursos naturales de Guatemala en el sector de combustibles	9
III. BIOCOMBUSTIBLES	10
A. Introducción	10
B. El concepto de biomasa	10
C. Métodos de conversión de la biomasa en energía	11
D. Los biocombustibles	12
E. Los biocarburantes a lo largo de la historia	13
F. Los cultivos energéticos	14
G. Aplicación de los biocombustibles	16
H. Aspectos ambientales asociados con el uso de biocarburantes	16
IV. BODIESEL	18
A. Introducción	18
B. Definición del biodiesel	18
C. Extracción del biodiesel	19
D. Producción del biodiesel	19
E. Bioestoraje	22
F. Principales especificaciones del biodiesel B100	23
G. Características principales del biodiesel	24

H.	Vida útil del biodiesel	24
I.	Breve descripción de su desarrollo en el mundo	24
J.	El reciclaje de los aceites de freír	25
K.	El motor diesel con aceite vegetal	26
V.	DIESEL	28
A.	Introducción	28
B.	Propiedades del diesel	28
C.	Problemas inherentes y contaminantes del diesel	30
D.	Principales especificaciones del diesel 2D	31
E.	Diferencias del biodiesel con el gasoil (diesel)	32
VI.	ASPECTOS RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD INDUSTRIAL	33
A.	Introducción	33
B.	Generalidades	33
C.	Conocer las sustancias químicas	36
D.	Hidróxido de sodio (NaOH) (sosa cáustica)	38
E.	Alcohol metílico (CH ₃ OH) (metanol)	42
VII.	MÉTODO DE PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL	45
A.	Introducción	45
B.	Descripción del método	46
C.	Muestras B20 y B50	53
VIII.	PRUEBAS DE ANÁLISIS DEL BIODIESEL	55
A.	Introducción	55
B.	Aspectos para determinar la eficiencia de un combustible	55
C.	Resultados de los análisis	56
D.	Descripción de las propiedades fisicoquímicas	63
IX.	GUÍA METODOLÓGICA SOBRE LA PROPUESTA DE UN EQUIPO INDUSTRIAL	66
A.	Introducción	66
B.	Estudio técnico	66
C.	Estudio económico	88
X.	CONCLUSIONES	98
XI.	BIBLIOGRAFÍA	100
XII.	APÉNDICE	103
A.	Decreto número 52-2003	103
B.	Resultados de análisis	109

LISTA DE TABLAS

		Página
Tabla		
1.	Emisiones del biodiesel (B100 y B20) respecto al diesel convencional	22
2.	Principales especificaciones del biodiesel B100	23
3.	Principales especificaciones del diesel 2D	31
4.	Resultados de análisis de muestra de biodiesel de aceite nuevo	57
5.	Resultados de análisis de muestra de biodiesel de aceite usado	58
6.	Comparación de las principales especificaciones	59
7.	Resultados de análisis de muestra B20	60
8.	Resultados de análisis de muestra B50	61
9.	Comparación de muestras B20 y B50 con diesel 2D y biodiesel B100	62
10.	Rendimiento de la materia prima	68
11.	Ejemplo del método cualitativo por puntos	70
12.	Simbología para representar operaciones en un proceso productivo	72
13.	Simbología del método SLP	76
14.	Resumen de las capacidades y dimensiones de los tanques	85
15.	Resumen de las áreas de la planta	86
16.	Cotizaciones de distribuidores nacionales de metanol y sosa cáustica	88
17.	Costos de la cantidad necesaria de metanol y sosa cáustica para un galón de biodiesel	89
18.	Promedios de precios de distribuidores de diesel	89
19.	Costos de materia prima para un galón de combustible B50	89
20.	Potencia, horas de trabajo, cantidades y consumo de equipo eléctrico	90

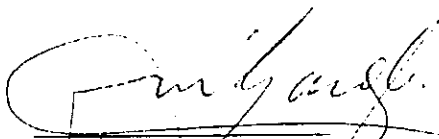
21. Costos por energía eléctrica diarios	92
22. Costos de los tanques necesarios en la producción	95
23. Costos de maquinaria y equipo principal de la planta	95
24. Costos de un galón de combustible B50	97

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Importaciones de gasolinas y diesel por compañía	9
2. Diagrama esquemático del proceso de producción del biodiesel	21
3. Esquema básico de la etiqueta de una sustancia química	38
4. Metanol y sosa cáustica en el agitador eléctrico	47
5. Metanol y sosa cáustica en el agitador magnético	47
6. Mezcla de aceite con metóxido de sodio	48
7. Vertido de mezcla en recipiente	48
8. Mezcla con más de ocho horas en reposo	49
9. Vista de sedimento en el fondo	49
10. Biodiesel extraído	49
11. Filtrado del biodiesel	49
12. Sedimento (glicerina)	50
13. Recipiente con la glicerina	50
14. Mezcla luego de ser batida por una hora	51
15. Mezcla reposada (más de ocho horas)	51
16. Biodiesel extraído de la mezcla	51
17. Glicerina recuperada del fondo	51
18. Biodiesel filtrado	52
19. Muestras etiquetadas para enviar al laboratorio	52
20. Equipo de ingenieros y colaboradores	52

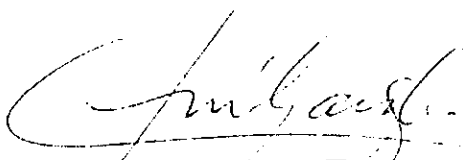
21. Muestras B20 y B50 etiquetadas para enviar al laboratorio	54
22. Diagrama de flujo del proceso de producción del biodiesel	73
23. Tiempos estimados de operación de la planta	75
24. Diagrama de correlación o matriz diagonal	77
25. Diagrama de hilos	77
26. Tanque de almacenamiento de aceite	80
27. Tanque de almacenamiento de diesel	81
28. Filtro prensa equipado para operación automática	83
29. Distribución de la planta	87

Vo.Bo.

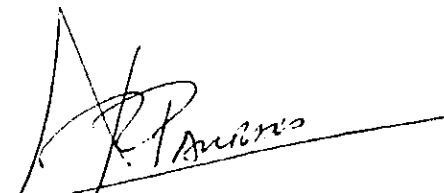


Ing. José Joaquín Garoz
Asesor

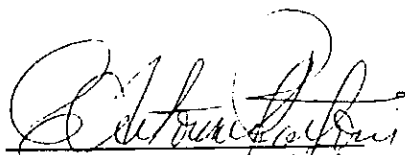
Tribunal examinador:



Ing. José Joaquín Garoz



Ing. Carlos Roberto Paredes



Ing. Carlos Antonio Poitevin

11 ENE 2005

I. INTRODUCCIÓN

Como consecuencia del atentado terrorista ocurrido en Nueva York el pasado 11 de septiembre de 2001, existe una pugna por los recursos petroleros asiáticos. El terrorismo global y la opresión de los ricos sobre los pobres están relacionados con la concentración territorial de los combustibles fósiles y la dependencia que de ellos tenemos. Una parte de los denominados biocombustibles se puede considerar como una forma de energía renovable que, al potenciar la producción de estos, contribuye a redistribuir la riqueza y a minimizar la dependencia de los combustibles fósiles.

El agotamiento de los recursos fósiles, el incremento de las emisiones de contaminantes (que se sitúan por encima de la capacidad de regeneración de los ecosistemas) y el hecho de que dos terceras partes de las reservas petrolíferas están en la inestable región del golfo Pérsico claman a gritos la necesidad de encontrar alternativas energéticas. Las crisis energéticas que sacudieron el siglo XX fueron el motor para incentivar la búsqueda de nuevas fuentes energéticas. Sin embargo, el actual modelo energético mayoritariamente basado en las energías fósiles y que engorda a la economía mundial está en crisis. Los denominados biocombustibles han entrado en la palestra cuando se acercaba o se daba un período de crisis.

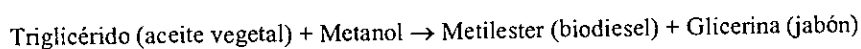
El combustible biodiesel se enmarca adecuadamente para el cumplimiento de estos propósitos, al otorgar la posibilidad a la agroindustria guatemalteca de sumar un nuevo papel, aparte de ser el proveedor de alimentos a la población y el sostenimiento de la balanza comercial. Tendrá la posibilidad de contribuir a mejorar el aire, al ser la futura fuente de insumos para la producción de combustibles ecológicos provenientes de recursos renovables, cumpliendo asimismo con la demanda mundial referida a la protección del medio ambiente.

El biodiesel no tiene una definición estricta. Sin embargo, está catalogado por la American Society for Testing and Materials (ASTM, Sociedad Americana de Pruebas y Materiales), como el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo, aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores diesel.

Una de las principales características del biodiesel es que puede ser producido a partir del reciclaje de los aceites de freír por medio de una reacción química denominada transesterificación. Por una parte, garantizamos la producción de biodiesel con un costo más bajo y, por otra, aprovechamos un residuo valioso que de otra forma se convertiría en un problema tanto ecológico como económico. El reciclaje de estos residuos oleicos comporta la optimización del producto en todo su ciclo de vida. Además, con el reciclaje de los residuos producidos en nueva materia prima contribuimos a la utilización de tecnologías más limpias.

Existen diversos métodos de producción de biodiesel desarrollados alrededor del mundo. Alemania, Austria y Francia son ejemplos de países europeos que ya lo utilizan en sus automóviles. De hecho, en Alemania se cuenta con más de 1,000 biogasolineras. En Japón ya ha surgido interés por su producción y uso. Los Estados Unidos produjeron unos 19 millones de litros de biodiesel en el año 2000, aunque el potencial de producción es de 190 millones de litros al año. Los productores utilizan aceites de cocina reciclados y aceite de soja para fabricarlo.

Durante el presente trabajo se muestra un método de producción de biodiesel a partir de aceite de girasol usado, donde se utiliza el metanol y la sosa cáustica como catalizador. De esta manera, la fórmula química básica de transesterificación es:



De acuerdo con los objetivos planteados, se procedió a elaborar pequeñas muestras de biodiesel para poder comprobar la veracidad de otros métodos propuestos para producir biodiesel. Así, se debieron analizar las propiedades físicas de nuestro producto para determinar si es posible utilizarlo como combustible para motores diesel.

Los análisis de las muestras de biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol nuevo y usado no presentaron los resultados esperados, ya que para poder emplearlo como combustible en un vehículo con motor diesel, el combustible debe cumplir con todas las especificaciones del diesel 2D utilizado en Guatemala. Las principales propiedades que no se cumplieron fueron la viscosidad cinemática, la gravedad API (American Petroleum Institute) (Instituto de Petróleo Americano), y la curva de destilación. También se tuvieron problemas con el poder del hidrógeno (pH) del biodiesel ya que un diesel 2D tiene un pH de seis y nuestro biodiesel tuvo un pH de ocho, aproximadamente.

Por lo anterior, se realizaron muestras de combustible B20 y B50, esto es, muestras con un 20% de biodiesel y 80% de diesel; y 50% de biodiesel y 50% de diesel, respectivamente. Básicamente se siguió el mismo procedimiento para la elaboración del biodiesel a partir del aceite de girasol usado. Los análisis de laboratorio de estas muestras presentaron resultados positivos en todas las propiedades fisicoquímicas al estar dentro de los rangos de las especificaciones del diesel 2D. Por este motivo, es factible pensar que cualquier motor diesel pueda operar sin ningún problema con las muestras B20 o B50.

Finalmente, se presenta una guía metodológica sobre el estudio técnico y económico de la propuesta de una planta productora de biodiesel. Cabe mencionar que para tomar la decisión sobre el proyecto es necesario que éste sea sometido al análisis multidisciplinario de diferentes especialistas. Una decisión de este tipo no puede ser tomada por una sola persona con un enfoque limitado.

A. Objetivos

1. Generales.

- a. Desarrollar una propuesta de un método alternativo en la producción de biocombustibles.
- b. Crear un ambiente de consciencia acerca de la utilización de fuentes renovables que ayuden a mejorar las condiciones del medio ambiente.
- c. Ampliar el conocimiento sobre las características del biodiesel.

2. Específicos.

- a. Desarrollar un método para la producción a baja escala de biodiesel a partir de aceites vegetales usados.
- b. Darle un valor de rescate al aceite vegetal usado mucho mayor al que se le da actualmente a través de la posibilidad de convertirlo en biodiesel y glicerina.
- c. Comparar las características energéticas y ambientales del biodiesel con las del diesel comercial para beneficio directo del medio ambiente.
- d. Presentar una guía metodológica sobre la propuesta de la maquinaria necesaria para la producción del biodiesel a mayor escala.

II. ENERGÍAS RENOVABLES

A. Introducción

Es evidente que, con un consumo energético mundial de 11,500 millones de toneladas equivalentes de petróleo por año (Mtep/año) obtenidos mayoritariamente de combustibles fósiles, la atmósfera planetaria se debe resentir. Al fin y al cabo, el petróleo que quemamos en un año tardó un millón de años en formarse. Es decir, que liberamos en la atmósfera el dióxido de carbono (CO_2) capturado en épocas pretéritas. Algunos científicos marcan el límite de 580 partes por millón (ppm) de CO_2 a la atmósfera. A principios del siglo XIX era tan sólo de 280 ppm y al final del siglo se situaba en unos 380 ppm. Si no queremos llegar a un nivel peligroso para la supervivencia humana, convendría reducir el consumo de energías fósiles. Los expertos señalan que, por precaución, sería conveniente reducir el consumo de combustibles fósiles en un 40%.

Actualmente, se continúan liberando alrededor de unas 9,000 millones de toneladas de carbono en forma de CO_2 , de las cuales 7,000 millones proceden directamente de la combustión de los productos fósiles y 2,000 millones de la deforestación. La mitad se calcula que se disuelve en los océanos, pero una fracción considerable queda libre en la atmósfera e incrementa la proporción de gas carbónico y es la responsable del denominado efecto invernadero. Pensemos que, cuando usamos la biomasa vegetal como fuente de energía, quiere decir que la cantidad de emisiones a la atmósfera es solamente de entre 10 y 15% de las del gas natural y entre un 8 y 10% con respecto al carbón.

En cuanto al dióxido de azufre (SO_2), cabe decir que la biomasa como la paja o la madera no están exentas como el gas natural, pero presentan proporciones menores de cuatro veces con respecto al fueloil o de cinco veces con respecto al carbón. Es obvio que, si aprovechamos la capacidad energética de los vegetales, contribuimos a reducir las emisiones de carbono en la atmósfera con respecto a los combustibles fósiles tradicionales.

Podemos afirmar que el potencial energético de los vegetales y, por tanto, de la biomasa, fue conocido por los humanos desde el momento en que descubrieron el fuego. En este sentido, la biomasa vegetal puede ser considerada como la fuente de energía renovable más antigua que se conoce. La biomasa será renovable en la medida en que sepamos gestionar la capacidad de regeneración de la planta que usemos. Además, la vegetación, las plantas, se distribuyen por toda la superficie de la Tierra de una manera bastante equilibrada. Por otra parte, para extraer el crecimiento de la biomasa vegetal, no es preciso utilizar técnicas de explotación intensiva, sino que pueden hacerse aprovechamientos de tipo extensivo siguiendo sus ritmos

anuales. El cultivo de biomasa para la fabricación de biocombustibles potencia la sostenibilidad local, regional y nacional en materia energética en todas las partes del mundo.

B. Descripción de las energías renovables

Las energías renovables se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana. Entre estas fuentes de energía están la hidráulica, la solar, la eólica y la de los océanos. Además, dependiendo de su forma de explotación, también pueden ser catalogadas como renovables la energía proveniente de la biomasa y la energía geotérmica.

Las energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según sea el grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten. Dentro de las convencionales, la más difundida es la hidráulica a gran escala. Como energías renovables no convencionales se consideran la eólica, la solar, la geotérmica y la de los océanos. Además, existe una amplia gama de procesos de aprovechamiento de la energía de la biomasa que pueden ser catalogados como energías renovables no convencionales.

Al ser autóctonas y, dependiendo de su forma de aprovechamiento, generar impactos ambientales significativamente inferiores que las fuentes convencionales de energía, las energías renovables no convencionales pueden contribuir a los objetivos de seguridad de suministro y sustentabilidad ambiental de las políticas energéticas. La magnitud de dicha contribución y la viabilidad económica de su implantación, depende de las particularidades en cada país de elementos tales como el potencial explotable de los recursos renovables, su localización geográfica y las características de los mercados energéticos en los cuales competirán.

C. Principales tipos de energías renovables

Existen diversos tipos de energías renovables, dependiendo de los recursos naturales utilizados para la generación de energía. A continuación se describirán brevemente los principales tipos de energías renovables con mayor desarrollo en el mundo.

1. **Energía hidráulica.** El agua que, dentro del círculo hidrológico, fluye por los ríos al descender de un nivel superior a un nivel inferior genera una energía cinética que el hombre lleva siglos aprovechando. Hace más de 100 años, esa energía, que hasta entonces se usaba fundamentalmente para moler el trigo, comenzó a utilizarse en la generación de electricidad. De hecho, fue hasta mitad del siglo XX la principal fuente de que se sirvió el hombre para producirla a gran escala.

Las centrales hidroeléctricas funcionan convirtiendo la energía cinética y potencial de una masa de agua al pasar por un salto, en energía eléctrica. El agua mueve una turbina cuyo movimiento de rotación es transferido mediante un eje a un generador de electricidad. Existen fundamentalmente dos tipos de centrales hidroeléctricas: centrales de agua fluyente y centrales de pie de presa.

Las centrales de agua fluyente son aquellos aprovechamientos que mediante una obra de toma, captan una parte del caudal circulante por el río y lo conducen hacia la central para pasar por la turbina. Después, este caudal es devuelto al cauce del río. Estas centrales se caracterizan por tener un salto útil prácticamente constante, y un caudal muy variable, dependiendo de la hidrología. Por tanto, en este tipo de aprovechamiento, la potencia instalada está directamente relacionada con el caudal que pasa por el río.

El otro tipo, las centrales de pie de presa, son aquellas situadas aguas abajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros fines como abastecimiento de agua a poblaciones o riegos, susceptibles de producir energía eléctrica, ya que no consumen volumen de agua. Tienen la ventaja de almacenar la energía (el agua) y poder emplearla en los momentos en que más se necesiten. Normalmente son las que regulan la capacidad del sistema eléctrico y con las que se logra de mejor forma el balance consumo y producción.

2. **Energía eólica.** El aprovechamiento del viento para generar energía es casi tan antiguo como la civilización. La primera y la más sencilla aplicación fue la de las velas para la navegación. Hace 2,500 años ya podemos encontrar referencias escritas de la existencia de molinos en la antigua Persia. En el siglo XX, el hombre comienza a utilizar la energía eólica para producir electricidad pero en principio sólo para autoabastecimiento de pequeñas instalaciones. En los últimos 10 años del siglo XX y, gracias a un desarrollo tecnológico y a un incremento de su competitividad en términos económicos, la energía eólica ha pasado de ser una utopía marginal a una realidad que se consolida como alternativa futura y, de momento, complementaria a las fuentes contaminantes.

Aerogenerador es el nombre que recibe la máquina utilizada para convertir la fuerza del viento en electricidad. Los aerogeneradores se dividen en dos grupos: los de eje horizontal, los más utilizados y eficientes, y los de eje vertical. El aerogenerador de eje horizontal, utilizado mayoritariamente en los parques eólicos, consta de tres partes básicas: el rotor, que incluye el buje y las palas; la góndola, donde se

sitúan el generador eléctrico, los multiplicadores y los sistemas hidráulicos de control, orientación y freno; y la torre, que debe ser tubular, ya que las celosías no se emplean en la actualidad.

3. **Energía solar o fotovoltaica.** Como el resto de las energías renovables, la tecnología fotovoltaica, que consiste en convertir directamente la radiación solar en electricidad, es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable. Actualmente, la fotovoltaica ya es competitiva para electrificar emplazamientos relativamente alejados de las líneas eléctricas como, por ejemplo, viviendas rurales, bombeo de agua, señalización, alumbrado público, equipos de emergencia, etc.

Una instalación fotovoltaica aislada está formada por los equipos destinados a producir, regular, acumular y transformar la energía eléctrica. Estos equipos son las células fotovoltaicas, donde se produce la conversión fotovoltaica. Las más empleadas son las realizadas con silicio cristalino. La incidencia de la radiación luminosa sobre la célula crea una diferencia de potencial y una corriente aprovechable. Se definen las placas fotovoltaicas como un conjunto de células fotovoltaicas conectadas entre sí que están encapsuladas para formar un conjunto estanco y resistente.

Otro equipo es el regulador que tiene por función regular la carga y la descarga de las baterías y eventualmente protegerlas de una sobrecarga excesiva. También están las baterías que son el almacén de la energía eléctrica generada. En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, que no sólo permiten disponer de electricidad durante la noche o en los momentos de baja insolación, sino para varios días. Finalmente se tiene al ondulator, que transforma la corriente continua generada por las placas fotovoltaicas y la acumulada en las baterías, a corriente alterna.

4. **Energía geotérmica.** Millas debajo de la superficie de la Tierra se encuentra la reserva de energía más grande del mundo: la energía geotérmica. Nuestros ancestros han usado la energía geotérmica para la cocción de alimentos y para fines de limpieza desde épocas prehistóricas. Hoy en día, usamos esta inmensa reserva de energía para suplir a millones de personas con electricidad limpia y a un bajo precio.

La energía geotérmica es el calor contenido debajo de la corteza terrestre. Es limpio y sustentable. Este calor es traído a la superficie como vapor o agua caliente creada cuando el agua fluye en la superficie de rocas calientes, y es utilizada directamente para calentar espacios en hogares y edificios o convertida en electricidad. Los recursos de energía geotérmica los encontramos desde tierra poca profunda con agua caliente y roca caliente, hasta millas debajo de la superficie al extremo de temperaturas muy altas con roca fundida (magma).

Un sistema de bombeo del calor geotérmico consiste en una bomba para calor, un sistema de suministro de aire (ductos), y un intercambiador de calor. En el invierno, la bomba de calor remueve calor del

intercambiador de calor y lo bombea hacia el sistema de suministro de aire de un edificio. En verano, el proceso se revierte y la bomba de calor mueve el calor del aire del interior de un edificio hacia el intercambiador de calor. Este calor también puede ser usado para calentar agua.

La energía geotérmica es producida de grandes cantidades de calor que la Tierra posee. Hoy 20 países producen potencia con un sistema natural de vapor geotérmico que nace de profundos pozos perforados en reservas de calor permanente. La capacidad de todas las plantas de potencia geotérmica es de 7,300 megavatios (MW). Con cerca de 2,300 MW de potencia geotérmica instalados, la energía geotérmica es la segunda fuente más grande de energía renovable en los Estados Unidos (luego de la hidroeléctrica). La energía geotérmica es esencialmente no contaminante.

D. Ventajas de las energías renovables

1. La principal ventaja de las energías renovables es la de su menor impacto ambiental, ya que reducen el número de contaminantes a la atmósfera, pero además su distribución territorial es más dispersa y menos concentrada.
2. No emiten CO₂ a la atmósfera y evitan así el proceso de calentamiento terrestre como consecuencia del efecto invernadero.
3. No contribuyen a la formación de lluvia ácida.
4. No dan lugar a la formación de óxidos de nitrógeno.
5. No necesitan sofisticadas medidas de seguridad.
6. No producen tóxicos de difícil o imposible tratamiento o eliminación.
7. Una vez realizada la instalación y hecha la inversión inicial, no se originan gastos posteriores; el consumo de energía eléctrica es prácticamente gratuito.
8. Son autóctonas y, por consiguiente, evitan importaciones del exterior.

E. Recursos naturales de Guatemala en el sector de combustibles

1. **Fósiles.** Guatemala es el único país centroamericano que produce petróleo, siendo la producción promedio de 25,000 barriles nacionales de petróleo diarios (BNP/D). Esta cantidad está por debajo del consumo interno nacional que es del orden de los 100,000 BNP/D. Además, que por no tener una refinería apropiada la mayor parte debe exportarse, a excepción de alrededor de unos 2,000 BNP/D, que se procesan para la obtención de asfalto.

La exploración petrolera ha sido limitada en los últimos años, teniendo el país aún un potencial para el descubrimiento de nuevos yacimientos de hidrocarburos que aumente la producción y que eventualmente justifiquen la construcción de refinerías. Mientras esto sucede seguimos importando los derivados del petróleo, como bunker, diesel, gasolinas, gas, etc.

La Figura 1 muestra un diagrama de los porcentajes de las importaciones de gasolinas y diesel por compañía. Los datos son hasta abril de 2004. Volumen total de importación de súper, regular y diesel: 5,280,020 barriles (BLS).

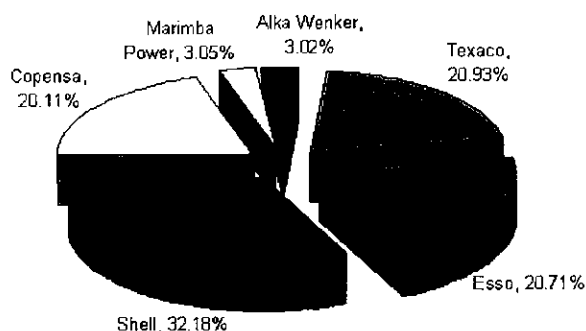


Figura 1: Importaciones de gasolinas y diesel por compañía.
Fuente: Guatemala, 2004.

2. **Renovables.** Entre estos, las hidroeléctricas de diferentes tamaños son un potencial bueno para proveer de electricidad al país, incluso cuando los impactos ambientales de cada uno de estos proyectos hay que tomarlos en cuenta a la hora de tomar decisiones. La energía solar ha sido instalada con éxito en las comunidades aisladas, donde no hay tendido de líneas eléctricas. Estos proyectos han sido elaborados con ayudas de países extranjeros puesto que los costos de su instalación son muy elevados. La energía eólica ha sido muy poco aplicada todavía, aunque tenemos un gran potencial para la misma.

Siendo Guatemala un país agrícola, verde, cañero por tradición, y donde existen una gran cantidad de especies de semillas que pudieran generar aceites para su transformación en biodiesel, es necesario crear los medios para su desarrollo.

III. BIOCOMBUSTIBLES

A. Introducción

El Sol es el gran motor energético de nuestro planeta. Una de las principales fuentes de transformación de la energía solar en energía química (capitalizada en forma de materia viva) es la reacción química concedida por fotosíntesis. El crecimiento de las plantas y también la producción del oxígeno necesario para la vida están ligados a la fotosíntesis con un rendimiento de un 30%. Las plantas, tomando el CO₂ de la atmósfera y el agua, son capaces de sintetizar compuestos más complejos. A continuación, gracias a la respiración, se produce el efecto contrario rompiendo estas moléculas de carbono con el oxígeno para obtener la energía contenida en estos enlaces químicos, al mismo tiempo que se libera CO₂ y vapor de agua.

La originalidad de la fotosíntesis es que toma la energía de los fotones de la luz del Sol y de las materias disponibles en la naturaleza (carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio y agua) a partir de los cuales se almacena en forma de macromoléculas. Aunque el rendimiento energético de la fotosíntesis es muy bajo (entre un 3 y un 5% de la energía solar se convierte en biomasa), compensa el hecho de que la energía solar es inagotable. A pesar de este bajo rendimiento, las plantas terrestres tienen un contenido energético de 3×10^{21} julios, es decir, unas 10 veces el consumo de la energía primaria de principios de los años 90. Actualmente, el aprovechamiento de las plantas para fines energéticos en los países industrializados no supera el 5% mientras que en los países no desarrollados constituye la principal fuente de energía.

B. El concepto de biomasa

Por biomasa entendemos el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de ésta. La biomasa tiene en común que deriva directa o indirectamente del proceso de la fotosíntesis. Por este motivo, se la considera una fuente de energía renovable. Es decir, que la energía que puede obtenerse de la biomasa proviene de la luz del Sol. El concepto de biomasa energética incluye todos los materiales vegetales que no pueden utilizarse con fines alimentarios o industriales. Por tanto, todos los productos alimentarios y los combustibles fósiles (a pesar de ser también el resultado de una forma de almacenamiento de la energía solar) no se incluyen dentro del concepto de biomasa.

Según su origen, la biomasa se clasifica en las siguientes formas:

1. **Biomasa natural.** Es la que producen los ecosistemas silvestres. El 40% de la biomasa que se produce en la Tierra, aproximadamente, está en los océanos. En la explotación de esta biomasa cabe vigilar el hecho de no explotar los recursos por encima de la tasa de renovación del ecosistema, ya que, si así fuese, el ecosistema se vería afectado de una forma irreversible y, con él, la supervivencia de la especie en interés. Cabe tener en cuenta que la extracción de biomasa de un ecosistema natural con la finalidad de usarla como combustible significa la liberación en la atmósfera de una cantidad de carbono equivalente que hasta entonces permanecería confinada en el seno del ecosistema natural. Por este motivo, para la explotación de biomasa es preciso una planificación que sea sostenible, a fin de que el ecosistema incorpore nuevos individuos, que a la vez capturarán más CO₂ atmosférico.

2. **Biomasa residual.** Es la que se puede extraer de los residuos agrarios y forestales, y de las actividades humanas. Las actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera, generan una serie de residuos y subproductos que son utilizables como biomasa para obtener energía. Otros materiales derivados de la biomasa aprovechables por su valor energético son los residuos biodegradables (vertidos ganaderos, vertidos de aguas residuales, cienos de depuración, etc.).

3. **Cultivos energéticos.** Recibe esta denominación cualquier cultivo agrario cuya única finalidad sea proporcionar material para destinarlo a su aprovechamiento energético. Los cultivos que suelen labrar con esta finalidad se caracterizan por dos aspectos concretos. Por una parte, por su alta producción por unidad de superficie y año y, por otra, por los pocos requerimientos que exige su cultivo.

C. Métodos de conversión de la biomasa en energía

La biomasa puede ser transformada en procesos líquidos, sólidos y gaseosos. Los procesos para obtener esta energía pueden ser de tipo físico (alterando la materia), termoquímicos (descomponiendo la biomasa) o bioquímicos (con la ayuda de microorganismos).

Tradicionalmente, a la biomasa se le ha extraído la energía por medio de la combustión, es decir, aprovechando su capacidad de oxidarse con el oxígeno del aire cuando está seca y disfrutando del calor que genera esta reacción en la cual se libera gas carbónico y vapor de agua. Otra forma es la pirólisis o combustión incompleta de la biomasa en ausencia de oxígeno a unos 500°C tal y como se hacía en las carboneras en el bosque con la leña. La biomasa tratada de esta forma mejoraba su rendimiento energético. Más moderadamente hemos aprendido a gasificarla con la denominada pirólisis flash que consiste en someter la biomasa a 1,000°C durante unos segundos. Se obtiene un gas pobre pero que puede servir de

base para la síntesis de metanol, el cual tiene un importante poder energético y se puede usar como sustituto de los combustibles fósiles. A estos procesos les podemos llamar termoquímicos.

Sin embargo, también existen los denominados métodos biológicos, entre los cuales cabe destacar la fermentación alcohólica, la cual consiste en convertir los azúcares (glucosa, almidón, etc.), previa hidrólisis, en medio ácido y destilar este producto para obtener alcohol etílico. Es un proceso que requiere una importante aportación de energía. La fermentación metánica es la digestión sin oxígeno gracias a la acción bacteriana. Es útil para transformar la biomasa con un contenido de humedad superior al 75%. En los digestores, la celulosa se degrada en un gas que contiene un 60% de metano y un 40% de CO_2 , el cual no se puede aprovechar y es necesario separar del metano.

D. Los biocombustibles

Los biocombustibles son alcoholes, éteres, esterres y otros productos químicos que provienen de estos compuestos orgánicos de base celulósica (biomasa) que se extraen de plantas silvestres o de cultivo. El término biocombustible se aplica tanto a los combustibles destinados a producir electricidad como a los que se utilizarán en los medios de transporte.

Nos centraremos en un tipo concreto de biocombustibles: los biocarburantes o biocombustibles líquidos. Principalmente, los biocarburantes están destinados a la automoción. Sin embargo, representan un sector, el transporte, muy relevante en el camino hacia la renovación de la economía energética actual. El término biocarburantes agrupa al conjunto de combustibles líquidos de origen orgánico que provienen de las distintas transformaciones que ha sufrido la materia orgánica.

Los biocarburantes se pueden dividir en dos grupos básicos. Por una parte, encontramos los bioalcoholes, que provienen de la fermentación alcohólica de cultivos vegetales ricos en almidón y, por otra, los bioaceites, derivados de diversos tipos de especies oleaginosas, así como también, de la transformación de los aceites vegetales fritos.

La ventaja de este tipo de combustible radica en su origen. Proviene de material de forraje vegetal, al cual se le ha extraído parte del CO_2 que se podría liberar en la atmósfera. Por eso, la utilización de los biocarburantes como combustibles no comporta un aumento neto de CO_2 a la atmósfera, de manera que contribuye a minimizar el efecto de los gases invernadero.

E. Los biocarburos a lo largo de la historia

La utilización de los biocombustibles líquidos es tan antigua como la de los mismos combustibles de origen fósil y los motores de combustión interna. Así, cuando ahora hace más de 100 años Rudolf Diesel diseñó el prototipo del motor diesel ya estaba previsto que funcionara con aceites vegetales. De hecho, en las primeras pruebas, lo hizo funcionar con aceites vegetales. Sin embargo, cuando el petróleo irrumpió en el mercado era barato, razonablemente eficiente y fácilmente disponible. Uno de estos derivados, el gasóleo, rápidamente se convirtió en el combustible más utilizado en el motor diesel. El denominado biodiesel no nace hasta raíz de la crisis de los años 70.

Cuando Henry Ford hizo el primer diseño de su automóvil Model T en 1908, esperaba utilizar el etanol como combustible. De hecho, de 1920 a 1924, la Standard Oil Company (compañía Standard Oil) comercializó un 25% de etanol en la gasolina vendida en el área de Baltimore. Sin embargo, los elevados precios del maíz, junto con las dificultades de almacenamiento y transporte, hicieron abandonar el proyecto. A finales de la década de los 20 y durante la década de los 30, se hicieron esfuerzos para recuperar sin éxito el proyecto. A partir de esta disminución en la utilización del etanol, Henry Ford y diversos expertos unieron fuerzas para promover su recuperación. Se construyó una planta de fermentación en Atchinson (Kansas) con un potencial para fabricar 38,000 litros diarios de etanol para automoción. Durante los años 30, más de 2,000 estaciones de servicio en el mediano oeste vendieron este etanol hecho de maíz que denominaron gasol. No obstante eso, la competencia de los bajos precios del petróleo obligó al cierre de la planta de producción de etanol a mediados de los años 40. Como consecuencia, se acabó el negocio de los granjeros americanos y el gasol fue sustituido definitivamente por el petróleo.

Durante la década de los 70, y como consecuencia de la primera crisis del petróleo, se recuperó la utilización de la mezcla de etanol con bencina tanto en los Estados Unidos como en Brasil. Estos programas tuvieron mucho éxito y han durado hasta la actualidad. En Brasil, todavía hoy, casi 10 millones de vehículos se mueven con alcohol y mezclas de bencina y etanol.

La organización Clean Air Act (Acta del Aire Limpio) de 1990 obligaba a oxigenar los combustibles de aquellas áreas de Estados Unidos que tuviesen unos altos niveles de CO₂. A raíz de estos episodios de contaminación, la demanda de etanol como mezcla oxigenante creció de modo considerable. La mezcla más utilizada ha sido el E10, que contiene un 10% de etanol. El E85 y E95 se ha usado en los Estados Unidos en la flota de vehículos estatales, en autobuses públicos urbanos y en Flexible Fuel Vehicles (FFV) (automóviles con combustible flexible) que funcionan indistintamente con gasolina o E85. En el verano de 1997, Ford y Chrysler separadamente anunciaron que pretendían manufacturar cada uno de ellos unos 250,000 FFV por año y venderlos al mismo precio que los de gasolina.

En el año de 1985 se planteó la introducción de los biocombustibles en Europa. El objetivo era sustituir el 25% del combustible fósil por bioetanol. Su aplicación no se aprobó por cuestiones de rentabilidad y coste. Sin embargo, se dedicaron sustanciosos fondos para la investigación y desarrollo de estas tecnologías. Una interesante medida fue la propuesta de la directiva Scrivener, que consistía en la desgravación del bioetanol en valores cercanos a los que gravan los combustibles fósiles y así facilitar su competitividad. Esta medida ha tenido aplicaciones parciales especialmente en Italia, Francia, Alemania y Austria, donde se han desarrollado experiencias pioneras en el sector. El objetivo europeo es que los biocombustibles lleguen a significar el 15% del biocombustible fósil utilizado en el sector del transporte en el año 2005.

F. Los cultivos energéticos

Los cultivos energéticos son aquellos cultivos agrícolas o forestales cultivados exclusivamente para convertir la cosecha en un producto energético. Los cultivos energéticos se presentan como una alternativa para aprovechar tierras que, de otro modo, deberían abandonarse. Para que los cultivos energéticos resulten rentables, es preciso que estén enfocados hacia grandes producciones por unidad de superficie y en períodos cortos de tiempo. De esta manera, se puede compensar el menor valor añadido que tiene su utilización energética frente al uso alimentario potencial por unidad de producto.

Para mejorar la rentabilidad de las explotaciones es conveniente orientar los cultivos hacia especies o sistemas de producción que necesiten pocos requerimientos. Esta reducción comporta, por una parte, importantes ahorros económicos frente a los cultivos agroalimentarios tradicionales y, por otra, importantes ventajas ambientales cuando se reduce la utilización de fertilizantes o biocidas tan comunes en los cultivos agroalimentarios. En este sentido, son preferibles las especies particularmente eficientes en la utilización de los recursos hídricos y los nutrientes como las denominadas plantas C4 (maíz o caña de azúcar) por encima de las plantas con metabolismo C3, más extendidas en agricultura.

Las ventajas ambientales que se obtienen de la utilización de los cultivos energéticos se pueden resumir en cuatro líneas principales.

1. Reducen los peligros de la erosión del suelo y el consumo de fertilizantes.
2. Evitan el abandono de tierras e impiden la degradación del suelo que podría conducir a la desertificación de éstas, y contribuyendo a frenar el despoblamiento de extensas áreas rurales.

3. Contribuyen a la reducción de los impactos ambientales derivados de la explotación energética de otros recursos como son los combustibles fósiles.

4. Conservan la biodiversidad de especies, puesto que permiten mantener territorios abiertos y con vegetación que son la base para muchas comunidades de plantas y animales silvestres.

La industria química procesa anualmente unos 900,000 millones de toneladas de materias básicas fósiles alrededor del mundo. Curiosamente, la producción anual de plantas terrestres de la biosfera es de 1.7 billones de toneladas, es decir, unas 2,000 veces más de lo que se necesita para elaborar los productos petroquímicos. Finalmente, cabe recordar que todos los restos vegetales que no se emplean en la fabricación de un producto determinado siempre pueden aprovecharse aunque sólo sea para generar biogás.

a. Tipos de cultivos energéticos. A grandes rasgos, los cultivos energéticos se pueden separar en dos grandes grupos. Por una parte, encontramos los cultivos destinados a la producción energética que no necesitan ninguna clase de transformación compleja a la hora de hacer el aprovechamiento energético. Este grupo incluye los productos agrícolas y forestales destinados a la producción de materiales lignocelulósicos y que se separan en cultivos herbáceos y leñosos. Por otra parte, encontramos el grupo de los cultivos destinados a la producción de los biocarburantes. Este grupo lo componen los cultivos amiláceos o azucarados destinados a la producción de bioetanol y los cultivos oleaginosos para la producción de biodiesel.

Entre los diferentes tipos de cultivos energéticos, los más interesantes para nuestro país son los cultivos que podrían considerarse como convencionales, es decir, cultivos agrícolas tradicionales destinados a finalidades energéticas en vez de alimentarias. La caña de azúcar, el maíz, los cereales, la patata o la remolacha para producir bioetanol, y la soja, el girasol y la colza para fabricar biodiesel son los más relevantes.

Otro tipo de cultivos energéticos son los acuáticos, los cuales tienen la ventaja de no competir con los cultivos alimentarios. En países tropicales plantas como el jacinto de agua pueden ser una alternativa importante, puesto que es una de las plantas con una de las productividades más grandes del reino vegetal (un centenar de toneladas de materia seca por hectárea y año). También existen algunas algas que se pueden utilizar como cultivos energéticos, como es el caso del alga unicelular *Botryococcus braunii* que, en relación con su peso, produce una importante cantidad de hidrocarburos.

G. Aplicación de los biocombustibles

Como veremos más adelante, el biodiesel es un buen sustituto o aditivo para el combustible diesel convencional. La mezcla aceite vegetal y queroseno es bastante buena como para utilizarla en casos de emergencia. Finalmente, el aceite vegetal puro es perfecto como combustible en un motor diesel si se dispone de los conocimientos suficientes para modificar correctamente el sistema de refrigeración del motor, así como el sistema de inyección del combustible. Actualmente, los motores diesel se utilizan en muchas situaciones diferentes y pueden funcionar con biocombustibles fabricados de aceites vegetales.

H. Aspectos ambientales asociados con el uso de biocarburantes

La carga anual en la atmósfera emitida por el consumo energético de recursos fósiles es de casi 6,000 millones de toneladas de carbono. Esta carga comporta un desequilibrio atmosférico que se relaciona con el cambio climático. La utilización de los biocarburantes en lugar de los combustibles fósiles tradicionales (gasóleo y gasolina o sus aditivos) comporta ventajas ambientales de primer orden ya que, con su uso, disminuye la cantidad de emisiones contaminantes derivadas del transporte motorizado. Este rasgo resulta muy significativo, puesto que en las ciudades la contaminación atmosférica causa estragos en la salud de las personas y el patrimonio arquitectónico. No obstante esto, ésta no es la única ventaja. Los biocarburantes son biodegradables y renovables, es decir, potencialmente inagotables, siempre que se practique una buena gestión en los cultivos de los cuales provienen.

Tal y como hemos mencionado anteriormente, la utilización de los biocarburantes repercute en el medio físico con una reducción de emisiones contaminantes como consecuencia de la ausencia significativa de azufre y cloro en su composición. De la misma manera, se produce la reducción en otros gases. Cuando se emplea el etanol como sustituto de la gasolina, se ahorra la toxicidad de monóxido de carbono (CO), los hidrocarburos volátiles, los compuestos aromáticos, el azufre, el plomo y las partículas. La reducción de las emisiones con respecto a los hidrocarburos se produce por el hecho de que los biocombustibles tienen una proporción más grande de oxígeno, la cual favorece una mejor combustión carburante, al mismo tiempo que los motores trabajan en condiciones parecidas a las de una mezcla pobre. El índice de octano elevado de los compuestos oxigenados permite limitar el uso de los compuestos aromáticos que son cancerígenos. Estos elementos se han empleado para recuperar el octanaje perdido con la desaparición progresiva del plomo de los carburantes.

En particular, la utilización del bioetanol reduce las emisiones tóxicas por evaporación del combustible, las cuales favorecen la formación de neblinas contaminantes, puesto que los compuestos orgánicos de la gasolina tienen una volatilidad más pequeña que las oleofinas. En cuanto al Etil Terciario Butil Éter

(ETBE), los estudios sobre su ciclo de vida señalan que contribuye al efecto invernadero entre 15 y 20% menos que el aditivo oxigenado de elevado índice de octano del tipo Metil Terciario Butil Éter (MTBE). La razón cabe buscarla en la proporción más grande entre la fracción renovable y la fósil. En lo que se refiere al biodiesel, la ausencia de una normalización de este producto impide precisar en términos cuantitativos con respecto a la utilización de gasóleo. En general se puede asignar una reducción de las emisiones de SO_2 , prácticamente inexistente, del CO, hidrocarburos, polímeros tipo poli hidroxialcanoatos (PHA) y partículas.

Además de estas importantes reducciones, en cuanto a las emisiones contaminantes, la utilización de los biocarburantes comporta otras ventajas ambientales. El hecho de que provengan de cultivos energéticos o de aceites reciclados elimina el riesgo inherente de las fuentes energéticas convencionales, especialmente ante la manipulación inadecuada, las fugas accidentales, etc. Dada la biodegradabilidad de estos compuestos, se elimina la posibilidad de causar impactos importantes en el caso de vertidos accidentales. Algunos estudios llevados a cabo por la Universidad de Idaho (Estados Unidos) mostraron que su degradación en una solución acuosa era del 95% después de 28 días, período que comparte con el azúcar. Por el contrario, en el mismo período de tiempo, el gasóleo sólo se degrada en un 40%.

La labor de los cultivos energéticos como materia prima para la producción de biocarburantes evita la erosión o degradación de suelos que, de otra forma, podrían ser abandonados por falta de rentabilidad. Además, la utilización menos intensiva de fertilizantes disminuye el riesgo de contaminación por exceso de fertilizantes. Puesto que los cultivos energéticos son la base de los biocombustibles y éstos se pueden cultivar en cualquier parte del mundo, esta realidad favorece gestionar en un ámbito regional estos recursos energéticos. En definitiva, contribuyen a superar la dependencia del petróleo, localizado en zonas muy concretas del planeta y que históricamente han estado en conflicto sociopolítico.

Sin embargo, los biocombustibles no son la panacea de la actual crisis energética. Su utilización también comporta toda una serie de problemas o inconvenientes que son precisos de puntualizar. A fin de que los biocombustibles sean significativos en el mercado energético mundial, son necesarias grandes superficies de cultivo, ya que del total de la plantación sólo se consigue un 7% de combustible. No podemos olvidar que la creación de grandes extensiones monocultivadas obliga a usar grandes cantidades de biocidas para controlar las posibles plagas que puedan aparecer. Recordemos que una extensión monocultivada es siempre mucho más susceptible a las plagas que una zona donde se hagan cultivos mixtos con diversas especies. A la vez, el combustible final requiere una transformación compleja y, en el caso concreto de los bioalcoholes, la destilación provoca una emisión de CO_2 más grande respecto a la gasolina o el gasóleo. Los biocombustibles son sólo una buena alternativa para los motores de bajo rendimiento y poca potencia, características que requerirían un replanteamiento de las actuales prestaciones mecánicas de los vehículos motorizados.

IV. BIODIESEL

A. Introducción

El biodiesel es un éster similar al vinagre que se obtiene a partir de una serie de aceites vegetales, fundamentalmente de sus semillas, y los frutos de plantas como la soja, la colza, la palma y el girasol. Aunque estas especies suelen ser las materias primas más utilizadas en su producción, se puede obtener a partir de más de 300 especies vegetales. También se obtiene a partir de la transformación del aceite vegetal de cocina frito. Esta última opción ha cobrado fuerza ante la necesidad de reciclar los aceites usados de la cocina, especialmente procedentes de bares, restaurantes y asadores.

Para poder conseguir los aceites vegetales contenidos en las semillas oleaginosas es necesaria una extracción química a través de procesos de compresión, extracción o pirólisis. Con este proceso, obtenemos un aceite bruto sin refinar que, aunque puede ser usado directamente como combustible, requiere una profunda transformación de los motores o la utilización de motores específicamente diseñados para poder propulsarse con este combustible.

B. Definición del biodiesel

Realmente el biodiesel no tiene definición estricta, sino que simplemente se obtiene de aceites vegetales, grasas animales y sus ésteres metílicos que se utilizan, después de un proceso, como combustibles. Sin embargo, la tendencia es cada día mayor hacia los ésteres alquílicos de aceites vegetales o grasas animales y no a aceites o grasas solas, utilizados como combustible en los motores diesel.

La única institución que tiene definido el biodiesel es la ASTM, que lo define como el éster monoalquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo, aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores diesel.

Por su parte, los químicos definen al biodiesel como una mezcla de los ésteres metílicos de los ácidos grasos triglicéridos de los aceites vegetales y/o grasas animales empleados como materia prima.

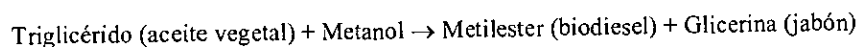
C. Extracción del biodiesel

El biodiesel se origina de un sinnúmero de productos orgánicos, ya que su elaboración puede partir tanto desde la cáscara de aguacate hasta la semilla de girasol. Por las condiciones y las características de cada producto, es recomendable extraer el biodiesel de plantas oleaginosas como: soja, girasol, maní, colza, palma, lino, cártamo o nabo.

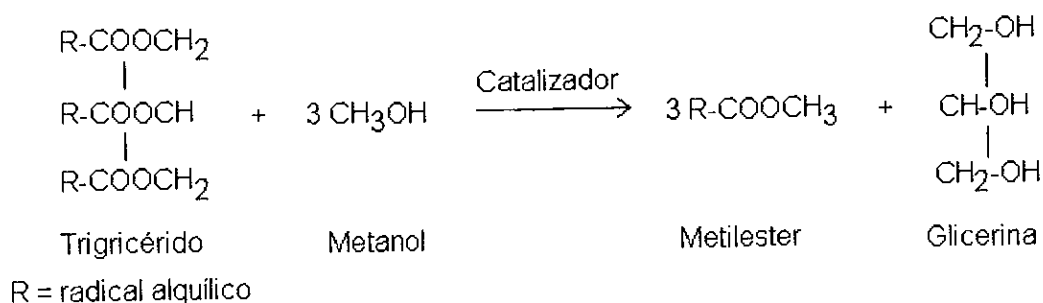
Además, también se pueden utilizar aceites usados, grasas animales tales como, la manteca de cerdo, sebos y grasas amarillas. Otros vegetales que se pueden utilizar son aquellos que en su semilla pueden generar aceites como son el algodón y el maíz.

D. Producción del biodiesel

La producción del biodiesel requiere un proceso elaborado. Después de la depuración de los aceites, el proceso continúa con una etapa conocida con el nombre de transesterificación. Esta reacción sustituye al alcohol del aceite vegetal (glicerol) por otro más simple (metanol o etanol). La reacción química básica es la siguiente:



Con notación química se tiene:



De este proceso, y tras una transformación química importante, se obtienen ésteres grasos (el éster etílico o el éster metílico). Para que la reacción se produzca, hay que separar previamente el glicerol o primer subproducto, y posteriormente unir los ácidos grasos al otro alcohol (metanol o etanol). Finalmente, se

obtiene el biodiesel, un diéster que tiene las mismas propiedades fisicoquímicas que el gasóleo, razón por la cual lo puede sustituir en todas sus aplicaciones. Este proceso de formación del biodiesel no requiere mucha energía y no genera subproductos nocivos.

Con las tecnologías actuales, para producir 1,005 kilogramos (Kg.) de biodiesel se necesitan 110 Kg. de metanol, 15 Kg. de catalizador, 1,000 Kg. de aceite y 4,290 litros de agua. Este proceso permite obtener como subproducto 100 Kg. de glicerina. En otras palabras, un litro de biodiesel se obtiene de 2.5 Kg. de semillas de girasol, el cual tiene un precio inferior al gasóleo de automoción.

A continuación se presenta un diagrama esquemático del proceso de producción del biodiesel (*vid.* Figura 2).

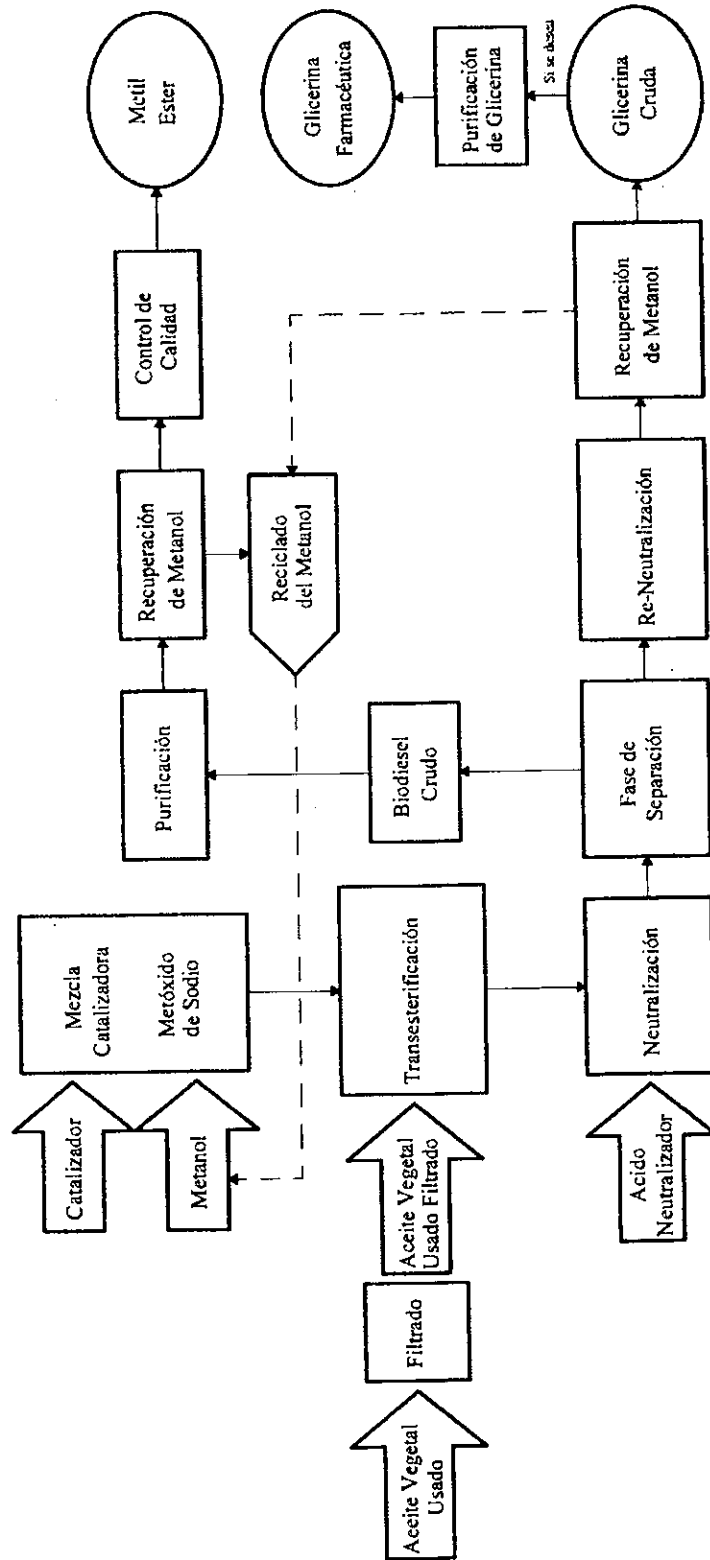


Figura 2: Diagrama esquemático del proceso de producción del biodiesel.

E. Bioesteraje

El biodiesel es utilizado típicamente como aditivo en una mezcla del 20% (B20) con gasóleo derivado del petróleo en motores de ignición y compresión (diesel). No obstante, también se puede utilizar puro en motores diesel, al 100% o B100, o en una proporción mucho más baja en forma de aditivo del 1 al 5%. El biodiesel B20 tiene un 20% de bioesteraje, es decir, un 20% de ésteres grasos y un 80% de diesel petrolífero. Este es el tipo de diesel que han de consumir los vehículos que tengan las mangueras de caucho natural. Por su parte, el biodiesel B100 tiene un bioesteraje del 100%, es decir, sólo contiene ésteres grasos; no contiene diesel petrolífero. Este tipo de diesel sólo lo pueden utilizar los vehículos que tengan las mangueras de caucho sintético. Obviamente, cambiándole al vehículo las mangueras de caucho natural por caucho sintético, o bien, comprándolo de fábrica con las mangueras de dicho material, se podrá consumir este tipo de biodiesel puro.

Se puede generalizar el tipo de mezcla como Bxx, donde xx representa el porcentaje de bioesteraje. A continuación se presenta una tabla sobre las emisiones de biodiesel (B100 y B20) respecto al diesel.

Tabla 1: Emisiones del biodiesel (B100 y B20) respecto al diesel convencional.

Tipo de emisión	B100 (%)	B20 (%)
Hidrocarburos sin quemar	-93	-30
Monóxido de carbono	-50	-13
Partículas en suspensión	-30	-22
Óxidos de nitrógeno	+13	+2
Sulfatos	-100	-20
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	-80	-13
Hidrocarburos aromáticos policíclicos nitrogenados	-90	-50
Potencial de destrucción de la capa de ozono	-50	-10

Fuente: Romero, 2002.

F. Principales especificaciones del biodiesel B100

Tabla 2: Principales especificaciones del biodiesel B100.

Parámetro	Especificación	Método ASTM
Viscosidad cinemática @ 37.78°C (100°F), mín. - máx.	1.90 – 6.0 mm ² /s ó centiStokes (cSt)	D445
Corrosión en la tira de cobre, 3 hrs. @ 50°C (122°F), máx.	3	D130
Índice de cetano, mín.	47	D613
Punto de inflamabilidad, mín.	130°C (266°F)	D93
Contenido de agua y sedimento, máx.	0.05% Vol.	D2709
Contenido de azufre, máx.	0.05% masa	D5453
Cenizas, máx.	0.02% masa	D874
Número de ácido, máx.	0.80 mg hidróxido de potasio (KOH)/gm	D664
Glicerina libre, máx.	0.02% masa	D6584
Glicerina total, máx.	0.24% masa	D6584
Contenido de fósforo, máx.	0.001% masa	D4951
Destilación, temperatura al recuperar el 90%, máx.	360°C (680°F)	D1160

Fuente: Estados Unidos, 2001.

G. Características principales del biodiesel

1. La energía total contenida en el combustible es más grande que la que se invierte en su proceso de fabricación.
2. Es seguro para transportarlo y almacenarlo. Es biodegradable como el azúcar, 10 veces menos tóxico que la sal de cocina, y tiene un punto de inflamabilidad de, aproximadamente, 130°C, mucho más seguro que el punto de inflamabilidad del diesel, que es de aproximadamente 50°C.
3. Su utilización comporta una reducción neta de las emisiones de CO₂ en un 80% y las de SO₂ en un 100%. También representa la reducción en un 90% de la cantidad de los hidrocarburos totales no quemados y entre el 75 y 90% de los hidrocarburos aromáticos.
4. Además, provoca una disminución en la emanación de las partículas y del CO. Por todo eso, diversos estudios realizados en los Estados Unidos han demostrado que el biodiesel reduce en un 90% el riesgo de contraer cáncer.

H. Vida útil del biodiesel

Tomando en cuenta que el biodiesel es un producto derivado de materia orgánica, es decir, que actúa con el oxígeno produciendo óxidos, y además, que es un combustible que no puede llevar ningún tipo de preservante debido al funcionamiento en el motor, se puede hacer un estimado de 60 días antes de que pierda su capacidad de funcionar como combustible. Obviamente, este tiempo es válido si es almacenado bajo las normas de calidad exigidas por la ASTM y no es alterado o expuesto a cambios drásticos de temperatura que podrían acelerar su proceso de descomposición o de evaporación.

I. Breve descripción de su desarrollo en el mundo

Los últimos años han facilitado el uso del biodiesel. Ciertos países de Europa Central, como Alemania y Austria, lo utilizan en forma pura, mientras que otros como Francia prefieren hacerlo en mezclas de baja proporción (5%). En Japón ya ha surgido interés por su producción y uso. Los Estados Unidos produjeron unos 19 millones de litros de biodiesel en el año 2000, aunque el potencial de producción es de 190 millones de litros al año. En este país, los productores utilizan aceites de cocina reciclados y aceite de soya para fabricarlo. El biodiesel se emplea en algunas flotas de vehículos federales y estatales y de transporte

público. En su estado puro o mezclado, el biodiesel se utiliza en embarcaciones y naves turísticas. Actualmente, en los Estados Unidos existe un crecimiento de interés por utilizar el biodiesel en lugares donde los trabajadores reciben dosis altas de gases producto de la combustión del diesel. Empresas emblemáticas como McDonald's reciclan unas 1,100 toneladas de aceite de freír para producir este tipo de biocombustibles.

En Alemania, la fuerte demanda de este combustible incrementó notablemente la molienda de colza, y por eso se vendía a un precio más bajo que el diesel mineral, ya que el biodiesel recibía un tratamiento de preferencia al considerarse un producto libre de impuestos. Además, Alemania dispone ya de más de 1,000 biogasolineras, estaciones de servicio que proporcionan biodiesel a un precio mucho más económico que el diesel ordinario.

J. El reciclaje de los aceites de freír

Con el reciclaje de los aceites de freír usados conseguimos un doble propósito. Por una parte, garantizamos la producción de biodiesel con un coste más bajo y, por otra, aprovechamos un residuo valioso que de otra forma se convertiría en un problema tanto ecológico como económico.

El reciclaje de estos residuos oleicos comporta la optimización del producto en todo su ciclo de vida. Además, con el reciclaje de los residuos generados en nueva materia prima estamos contribuyendo a la utilización de tecnologías más limpias. Los aceites orgánicos recuperados provienen de actividades alimentarias como la restauración, la industria o el sector doméstico. La recuperación de este residuo mejora la depuración de los sistemas de saneamiento, disminuye la producción de residuos en la planta depuradora, mejora el funcionamiento de los depósitos de aireación de las depuradoras y disminuye los vertidos de grasas al medio natural.

La eliminación de los aceites vegetales residuales de la red de alcantarillado comporta una reducción notable de los costes en materia de saneamiento.

Con los aceites usados, se obtienen los productos siguientes: el biodiesel, la glicerina y una pequeña cantidad de sales potásicas. La glicerina es un producto de consumo en diversos sectores industriales (cosméticos y farmacéuticos, mayoritariamente), mientras que las sales potásicas se destinan a la agricultura y la fabricación de fertilizantes.

K. El motor diesel con aceite vegetal

Una de las aportaciones tecnológicas más sorprendentes de estos últimos años en lo que respecta al diseño de motores es la posibilidad de hacerlos funcionar directamente con aceites vegetales en estado natural (en bruto). En otras palabras, que, en lugar de ir a la gasolinera a repostar un combustible fósil, se pueda utilizar aceite de un supermercado. Éste es el caso de la transformación del motor diesel diseñada por la empresa alemana Elsbett Konstruktion fundada en 1964 en Hilpolstien. Los trabajos de transformación mecánica de Elsbett son aplicables desde motores monocilíndricos hasta motores de doce cilindros, hecho que les ha valido el reconocimiento de premios internacionales por su labor a favor de la ecología.

Se trata de un motor semiadiabático, es decir, que intercambia muy poco calor con el medio y evita entre el 25 y el 50% de las pérdidas de energía a través del sistema de refrigeración. No dispone del convencional sistema de enfriamiento y esto le permite trabajar a una temperatura más alta y, por tanto, con un rendimiento termodinámico más alto. Por otra parte, tiene la característica de quemar la totalidad del combustible y por esto se puede considerar un motor prácticamente limpio. Además, el hecho de quemar aceite vegetal no libera SO_2 . Es un motor preparado para la combustión de aceite vegetal crudo, sin refinar y sin esterificar, que no carboniza ni deja sustancias residuales, que tiene una eficiencia térmica superior al 40% (recordemos que un motor de gasolina convencional o diesel no supera el 3%). Esto quiere decir que este rendimiento más grande le permite proporcionar más energía mecánica útil.

Los elementos mecánicos que le distinguen de un motor diesel convencional son:

1. Un pistón articulado con la parte superior aislada térmica y acústicamente situado dentro de una cámara de combustión de forma esferoidal.
2. Uno o dos inyectores por cilindro, de un solo agujero y autolimpiables, que inyectan el aceite vegetal a la cámara de combustión tangencialmente y esto permite una perfecta nebulización, es decir, que la mezcla aire y combustible es muy fina y esto evita que se hagan depósitos carbonosos.
3. La tapa de los cilindros dispone de una pequeña cámara anular por la cual circula el aceite lubricante que se emplea como refrigerante. Ya que el sistema de refrigeración no es con agua, la tapa del cilindro no lleva junta. Un pequeño radiador de aceite permite cerrar el circuito del aceite lubricante y refrigerante.

El hecho de que no necesite agua para la refrigeración ahorra piezas, peso y volumen al motor. Otro aspecto importante es la cámara de combustión esferoidal, la cual permite que haya un exceso de aire en la quema del aceite vegetal y que se estratifique la temperatura del motor. Así, mientras el núcleo de la

combustión puede llegar a los 1,300°C, la zona del contacto del pistón no supera los 650°C normales de cualquier motor. La temperatura final de los gases de escape solamente es un poco superior a la de los motores diesel convencionales. Asimismo, la combustión se hace con menos cantidad de aire y, por tanto, se reduce la emisión de óxidos de nitrógeno.

Las modificaciones del motor Elsbett permiten a los vehículos diesel funcionar tanto con gasóleo como con aceite vegetal con un buen rendimiento termodinámico y sin que se den problemas que afecten al buen funcionamiento del motor.

El motor Elsbett no es el único de los motores conocidos como policarburantes y semiadiabáticos. Sin embargo, sí es el único sistema que se puede aplicar en cualquier motor diesel con una mínima intervención y por un coste razonable de unos 2,500 a 3,200 euros. La intervención consiste, básicamente, en anular la cámara de agua del bloque, cambiar la tapa de los cilindros y los pistones y añadir un pequeño radiador para el aceite refrigerante. La única condición es que el motor no disponga de elementos cerámicos.

Entre los mecánicos se ha creado el neologismo elsbetizar para designar cuándo un motor se ha convertido en policarburante. Ésta es una de las posibilidades que tenemos para mejorar la calidad del aire de las ciudades.

V. DIESEL

A. Introducción

El gasoil o diesel es otro de los derivados del petróleo. Tiene un punto de ebullición que se encuentra entre los 200 y los 400°C y su composición varía entre los 15 y los 23 átomos de carbono. El gasoil tiene diferentes usos, principalmente se le utiliza para aportar energía en la producción de electricidad de manera que funciona como combustible en los motores diesel, siendo capaz de hacer funcionar camiones de carga, autos, embarcaciones y todo tipo de maquinaria.

El gasoil tiene algunas propiedades que lo diferencian de otros hidrocarburos. En este combustible el índice que lo caracteriza es el cetanaje. El cetanaje es la medida de la calidad de ignición y capacidad antidetonante del gasoil y es indicativo del grado de eficiencia de la combustión de este energético en el motor, de forma tal que se produzca la máxima cantidad de energía aprovechable. El gasoil aporta muchas ventajas. El combustible diesel es mucho más barato que la nafta y también capaz de suministrar la energía suficiente para mover grandes máquinas (ya que tiene un gran valor energético), por lo que es un hidrocarburo muy utilizable en todos los sectores.

B. Propiedades del diesel

Las propiedades importantes de los combustibles diesel son volatilidad, valor calorífico, calidad de ignición (número de cetano), viscosidad, fluidez a baja temperatura, estabilidad de almacenamiento, compatibilidad de componentes y contenido de sulfuro.

1. **Volatilidad.** La volatilidad de un combustible diesel tiene poca influencia en la operación del motor, excepto que afecta la tendencia de humo en el escape. Como los diesel son considerados como no inflamables para propósitos de carga, se imponen restricciones mínimas del punto de inflamación.

2. **Valor calorífico.** Este valor es el que mide la cantidad de energía que posee un combustible en una determinada masa. Se busca el combustible con mayor valor calorífico para una mayor economía en el consumo. La densidad y el punto de ebullición tienen influencia en esta característica.

3. **Calidad de ignición (número de cetano).** Este factor influencia en el arranque, la duración del humo blanco después del arranque, fluidez después del encendido y la explosión del diesel en condiciones de reposo. Si la demora en la ignición es reducida, el proceso de combustión empieza más rápido y las emisiones de CO e hidrocarburo (HC) son reducidas. El contenido de cetano de la mezcla, que concuerda con el retardo de la ignición, en el análisis del combustible, es el número de cetano. El requerimiento del número de cetano depende de la velocidad de operación del motor. Los motores con bajas velocidades de operación pueden usar un combustible con bajo número de cetano. El número de cetano puede incrementarse usando nitratos orgánicos, dependiendo del tipo y cantidad de base usada.

4. **Viscosidad.** La viscosidad influye en la inyección atomizada del combustible en el cilindro del motor. Mínimos límites de viscosidad son impuestos para prevenir que el combustible cause recubrimientos en la bomba de inyección del combustible.

5. **Fluidez a baja temperatura.** A diferencia de las gasolinas, las cuales tienen puntos de congelación bajos, los diesel tienen puntos pobres y altos entre los rangos de temperaturas a los que son usados.

6. **Estabilidad de almacenamiento.** En almacenamiento los diesel son atacados por el oxígeno atmosférico, el cual puede causar deposición de barniz. Antioxidantes y dispersantes son añadidos para reducir este problema, mientras que los desactivadores de cobre metálico reducen el efecto catalítico. En la presencia de agua, la actividad bacteriana puede formar limos en el sistema de almacenamiento, llevando a la obstrucción del filtro. Bactericidas son añadidos para evitar el crecimiento bacteriano. En ambientes fríos, se corre el riesgo de cargas estáticas eléctricas producidas durante la dispensa del combustible destilado. Se añaden aditivos antiestáticos para prevenir explosiones.

7. **Compatibilidad de componentes.** La contaminación de suciedad y agua debe ser evitada para proteger los componentes del motor. Las especificaciones incluyen límites estrictos en el contenido de agua y sedimentos. Dependiendo de la fuente de crudo, los combustibles diesel contienen varias cantidades de sulfuros, los cuales forman óxidos sulfúricos en la combustión. Estos pueden causar recubrimiento y deterioro de los aditivos de los aceites del motor. Se puede aumentar los intervalos de cambio de aceite para evitar estos contenidos de sulfuro.

8. **Contenido de sulfuros.** Durante la combustión los componentes de sulfuro se queman para formar subproductos ácidos, como SO_2 y anhídrido sulfúrico (SO_3), los cuales forman sulfuros en los gases de escape. Los sulfuros son parte de las emisiones de un motor diesel, por ello, si se controla el nivel de sulfuros se reduce el nivel de contaminación.

C. Problemas inherentes y contaminantes del diesel

El funcionamiento de los motores diesel depende en alto grado de la calidad del combustible que utilizan, en especial a la hora de ver su funcionamiento y la potencia que desarrollan. El uso de formulaciones inestables de combustible puede dar lugar a la formación de sustancias viscosas y adherentes que obstruyen los filtros, las bombas y los inyectores, y que en último término causan la avería completa de la maquinaria al poco tiempo de entrar en funcionamiento.

Los filtros de combustible retienen los contaminantes indeseados en el combustible. Los contaminantes del combustible vienen de muchas fuentes. Muchas fuentes son externas al sistema de combustible mismo, esto es, muchos contaminantes vienen con el combustible que llega al tanque. El combustible que viene de la refinería está limpio. Los contaminantes en el diesel generalmente se introducen en el almacenamiento por mezclado, transferencia y almacenaje. Los contaminantes más comunes son los siguientes:

1. **Agua.** Es la forma de contaminación más común. El agua puede introducirse en el diesel durante la carga cuando el aire caliente, cargado de humedad, se condensa en las paredes del tanque de combustible o debido a malas prácticas de limpieza. Los efectos del agua en el diesel pueden ser serios; puede causar la destrucción de un inyector o reducir la lubricidad del combustible.

2. **Hongos y bacterias.** Estos microorganismos viven en el agua y se alimentan de los hidrocarburos del combustible. Llamados abreviadamente Humbugs, esas activas y crecientes colonias pueden dispersarse en el sistema de combustible y tapar rápidamente el filtro de combustible. El filtro puede llegar a tener una capa de limo sobre la superficie del medio filtrante reduciendo dramáticamente la vida de servicio del filtro. Las bacterias pueden ser de cualquier color pero usualmente son negras, verdes o cafés. Drenar el sistema reducirá la actividad microbial pero no la eliminará. La única manera de eliminar el crecimiento microbial una vez que se ha iniciado es limpiar y tratar el sistema con un biocida.

3. **Cera.** Aunque es deseable como una fuente de energía en el combustible, es necesario su control en clima frío. Los cristales de cera se forman como resultado de la precipitación de la parafina a baja temperatura. Las temperaturas abajo del punto de enturbiamiento del combustible pueden resultar en precipitación de la cera y taponamiento del filtro. Para prevenir filtros tapados, el punto de enturbiamiento del combustible debe ser por lo menos -12°C debajo de la menor temperatura exterior.

4. **Alquitranes.** Son componentes del asfalto que generalmente son insolubles y comúnmente están presentes en cierto grado en todo combustible diesel. Esos alquitranes negros como la brea son duros y

frágiles y están hechos de moléculas largas. El combustible con un alto porcentaje de alquitranes acortará drásticamente la vida del filtro de combustible.

5. Sedimentos y otros sólidos. A menudo llegan al tanque de combustible y causan problemas. Muchos sólidos pueden ser removidos por sedimentación o filtración. Los filtros de combustible, diseñados para aplicaciones específicas removerán esos contaminantes peligrosos antes que causen mayor desgaste y daño al sistema.

D. Principales especificaciones del diesel 2D

Tabla 3: Principales especificaciones del diesel 2D.

Parámetro	Especificación	Método ASTM
Poder de combustión	44,790 kJ/kg (10,700 kcal/kg)	D240
Viscosidad cinemática @ 37.78°C (100°F), mín. - máx.	1.90 – 4.10 mm ² /s ó cSt	D445
Corrosión en la tira de cobre, 3 hrs. @ 50°C (122°F), máx.	3	D130
Índice de cetano, mín.	45	D976 D4737
Punto de inflamabilidad, mín.	52°C (125.6°F)	D93
Contenido de agua y sedimento, máx.	0.05% Vol.	D1796 D2709
Punto de turbidez, máx.	0°C (32°F)	D2500
Contenido de azufre, máx.	0.5% masa	D129 D2622
Cenizas, máx.	0.01% masa	D482
Gravedad API @ 15.55°C (60°F), mín. – máx.	30 – 40	D287
Destilación, temperatura al recuperar el 90%	282 – 350°C (540 – 662°F)	D86

Fuente: Guatemala, 2004.

E. Diferencias del biodiesel con el gasoil (diesel)

Como se ha venido mencionando, el biodiesel es un combustible obtenido mediante un proceso sustentable a partir de materias primas vegetales renovables, con lo que difiere de los derivados del petróleo, que dependen de reservorios fósiles no renovables. Por ello se dice que el biodiesel tiene un efecto benéfico sobre el ciclo del carbono. En efecto, la combustión libera a la atmósfera CO_2 , elemento que se asocia al efecto invernadero. Pero ese CO_2 es a su vez fijado por los vegetales, que lo utilizan como materia prima para construir sus tejidos. Por lo tanto, es posible cuantificar el crédito ambiental de un combustible de base renovable calculando cuánto CO_2 fija una plantación de oleaginosa determinada, y comparándolo con el CO_2 que genera la combustión del biodiesel que se puede fabricar con esa misma plantación.

Cualquiera sea este crédito ambiental (que dependerá del tipo de oleaginosa, del proceso de fabricación del biodiesel y de la eficiencia de combustión de los motores) siempre será mayor que el de un combustible fósil que, por su propia naturaleza, sólo genera gases de combustión sin que en su proceso de fabricación aparezca una fase agrícola de fijación de carbono.

Un complemento del mínimo impacto ambiental que produce el biodiesel y que lo distingue del gasoil es que no contiene algunos elementos indeseables presentes en distinta proporción en los combustibles convencionales (azufre y compuestos orgánicos aromáticos), por lo que su impacto ambiental se reduce adicionalmente al crédito ambiental previamente mencionado. Además, frente al gasoil, presenta las ventajas de casi no afectar el par motor, ni la potencia, ni el consumo de los motores. Como si esto fuera poco, posee un punto de ignición mayor, lo que reduce el peligro de explosiones por emanación de gases durante el almacenamiento; un índice de cetano promedio de 55; y una mayor lubricidad que favorece el funcionamiento del circuito de alimentación y de la bomba de inyección.

VI. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD INDUSTRIAL

A. Introducción

La presente sección trata un tema muy importante relativo a la seguridad industrial que debe tomarse en cuenta a la hora de producir biodiesel. Este tema puede ser bastante extenso, ya que en todas las actividades industriales lo fundamental y primordial es la seguridad. Para los fines de esta investigación se considerarán los aspectos generales de seguridad, dándole un mayor énfasis a los peligros que surgen al trabajar con las sustancias químicas (sosa cáustica y metanol) relacionadas con la producción de biodiesel.

B. Generalidades

Definamos primero dos términos fundamentales: accidente e incidente.

1. **Accidente.** Desde el punto de vista legal, es toda lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo ejecutado por cuenta ajena. Se distinguen dos tipos de accidentes de trabajo: a) accidentes *in labore* ocurridos durante la jornada laboral bien sea en el propio centro de trabajo, en un centro distinto o en desplazamientos dentro del horario laboral; b) accidentes *in itinere* cuando los sufre el trabajador al ir o volver del trabajo. Desde el punto de vista preventivo, el accidente no puede atribuirse a una causa única sino que es la resultante de un fallo global del sistema de prevención. En otras palabras, un accidente es un acontecimiento que ocurre a partir de un descuido o una mala técnica de laborar y que tiene consecuencias perjudiciales a la empresa, como por ejemplo, lesiones corporales a los trabajadores, demoras en la fase de producción, daños a la infraestructura o equipo de la empresa, etc.

2. **Incidente.** Lo definimos igual que un accidente con la única diferencia que por cuestiones de suerte, o bien, por cuestiones del destino, no llega a tener las consecuencias de un accidente como lesiones, daños, paradas en el proceso productivo, etc.

Los accidentes son la parte más visible del daño a la salud en el trabajo. Pero no son, ni mucho menos, el problema más importante. Se calcula que los accidentes representan solamente una cuarta parte del total de pérdidas de salud provocadas por el trabajo. La exposición a tóxicos provoca cánceres, alergias,

alteraciones reproductivas, enfermedades crónicas, etc. Algunos trabajos comportan un riesgo infeccioso. El ruido es causa de sordera. El polvo, de enfermedades respiratorias. La manipulación manual de cargas, las malas posturas y los movimientos repetitivos originan lesiones músculo esqueléticas. Trabajos monótonos o demasiado exigentes generan estrés. Suelen ser daños a la salud que no aparecen de forma inmediata pero ciertamente están provocados por años y años de exposición a riesgos en el trabajo.

Pues bien, lo que se pretende en todos los programas de seguridad industrial es convertir todos aquellos posibles accidentes en incidentes. Las principales técnicas de dichos programas se basan en la reducción de los factores de riesgo en las actividades potencialmente peligrosas. Se entenderán como procesos, actividades, operaciones, equipos o productos potencialmente peligrosos aquellos que, en ausencia de medidas preventivas específicas, originen riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores que los desarrollan o utilizan.

No todas las enfermedades derivadas del trabajo tienen la misma consideración social. Algunas se consideran enfermedades profesionales que son aquellas cuya relación con el trabajo es tan evidente y específica que prácticamente es imposible haberlas contraído fuera del ambiente laboral, por ejemplo, la silicosis. Otras, sin embargo, no son tan específicas y tienen una génesis multifactorial en la cual pueden haber intervenido tanto factores laborales como extralaborales, por ejemplo, lumbalgias. Estas últimas, que son la mayoría, no suelen catalogarse legalmente como enfermedades profesionales aunque muchas veces la influencia del trabajo está fuera de duda. La Organización Mundial de la Salud (OMS), para distinguir las, propone denominarlas enfermedades relacionadas con el trabajo.

La salud no es solamente la ausencia de enfermedad sino el bienestar físico, psíquico y social. También lo dice la OMS y, desde este punto de vista, tendríamos que considerar que hay muchas más cosas en el trabajo que inciden en la salud además de los factores que provocan accidentes o enfermedades. Alteraciones del sueño por trabajar a turnos, ausencia de desarrollo por una sucesión de trabajos penosos, etc. Para englobar este impacto negativo sobre la calidad de vida y el desarrollo integral de las personas se ha propuesto el término desgaste en el trabajo.

a. El porqué del riesgo. La gente que trabaja en tareas parecidas tiene muchas veces enfermedades similares. Esto se explica porque están expuestas a unas mismas condiciones de trabajo, a un mismo ambiente, durante buena parte de su vida activa. Precisamente este fenómeno es el que nos permite establecer una relación entre el trabajo y la pérdida de salud que sería muy difícil de poner en evidencia a nivel individual. Sabemos, por ejemplo, que los trabajadores en contacto con el amianto tienen cinco veces más probabilidad de padecer un cáncer de pulmón que los que no están expuestos. A esta probabilidad la denominamos riesgo y a las condiciones que la determinan, factores de riesgo.

Buscar culpables no nos parece un buen planteamiento. No obstante, sí queremos salir al paso de ciertas teorías que pretenden culpabilizar a la víctima por su enfermedad o por el accidente que sufrieron. Esto, además de ser falso, no nos lleva a ninguna parte. Defender este punto de vista hasta el límite nos llevaría a tener que admitir que miles de trabajadores tienen instintos suicidas, que estos instintos son más fuertes en los trabajadores de construcción que en el resto y más aún en los trabajadores temporales. Sencillamente absurdo. Pero, ¿por qué pasa lo que pasa?

En primer lugar, una perogrullada: el daño se produce porque hay riesgo. En un ambiente no ruidoso no se producen sorderas profesionales, la gente no se cae de un andamio perfectamente protegido, un trabajador creativo, valorado y equilibrado no genera depresiones.

En segundo lugar, las cosas no suelen tener una causa única: diversos factores interaccionan en un ambiente de trabajo y dan como resultado un daño a la salud. Un trabajo pesado en un ambiente caluroso aumenta la respiración y dilata los poros de la piel lo cual puede facilitar la entrada en el organismo de sustancias tóxicas tanto por vía respiratoria como cutánea.

En tercer lugar, el llamado factor humano suele estar también condicionado por el conjunto de las condiciones de trabajo: un descuido puede haber estado influido por el nerviosismo que provoca la exposición continua a ruido o por la acción repetida de disolventes neurotóxicos, un acto inseguro puede ser la resultante de un ritmo de trabajo excesivo o de la falta de formación o experiencia de un trabajador temporal.

El trabajo puede aportar también valores y estímulos positivos para el bienestar y para el desarrollo de las personas. De hecho, por ejemplo, las mujeres que trabajan fuera de casa tienen en general mejor salud mental que las que se dedican a las tareas domésticas. Algo parecido ocurre con los parados: la pérdida del trabajo provoca malestar y empeora las condiciones de vida. La inseguridad laboral que caracteriza el actual mercado de trabajo es también una fuente de pérdida de salud. No sólo es posible hacer prevención, es decir trabajar sin riesgos, sino que el propio trabajo puede ser un elemento de promoción de la salud. Se trata de un auténtico reto.

b. El riesgo no es inevitable. Sabemos que las cosas pueden hacerse de otro modo e incluso sabemos cómo hacerlo concretamente. El desarrollo tecnológico permite por ejemplo insonorizar máquinas. Mediante la investigación se han podido encontrar sustitutos a muchos materiales tóxicos. La automatización puede solucionar muchos problemas de carga física. Existen formas eficaces de organizar el trabajo que evitan la parcialización y la monotonía de la cadena de montaje. Casi siempre hay una manera mejor de hacer las cosas. Pero, ¿por qué no se aplican?

Esta es la cuestión. Hay otros campos de la atención de la salud en los que la aplicación de las soluciones es inmediata. Cuando se descubre un medicamento eficaz contra una determinada enfermedad empieza a utilizarse de forma generalizada sin más dilación. ¿Por qué no ocurre lo mismo en salud laboral? La respuesta hay que buscarla en el ámbito socioeconómico y en los diferentes intereses que intervienen en el proceso productivo, entre los cuales la promoción de la salud de las personas no es el único ni siquiera el más importante. Este conflicto de intereses complica la aplicación de soluciones preventivas de tal forma que muchas veces éstas se ven subordinadas a la productividad o al beneficio económico.

Como en otros terrenos de las relaciones laborales, hace falta una ordenación social para gestionar situaciones de conflicto de intereses. En este caso, para hacer compatibles el derecho a la salud con el derecho al trabajo. Esto se ha desarrollado en toda la Unión Europea de una manera más o menos homogénea trasladando a los diferentes Estados miembros una misma directiva general sobre salud y seguridad en el trabajo. La orientación fundamental de las reglas del juego en Europa es la de evitar el riesgo siempre que se pueda y controlarlo adecuadamente si no se puede eliminar. A esto se denomina prevención y su objetivo no es otro que impedir cualquier daño a la salud en el trabajo. La manera de conseguirlo que se proponen es modificar el ambiente de trabajo y mejorar las condiciones en que éste se realiza. La protección personal se considera una mala solución y por eso solamente se aconseja en último extremo cuando no se puede hacer otra cosa.

La prevención es un proceso en el que intervienen distintos actores: los empresarios que deben hacer compatibles sus legítimos intereses económicos con la obligación de proteger la salud de los trabajadores evitando que el trabajo provoque cualquier tipo de daños; los expertos (higienistas, médicos, psicólogos, ergónomos, etc.) que han de aportar sus conocimientos con el fin de encontrar soluciones técnicas a los riesgos laborales; los propios trabajadores que al fin y al cabo son los destinatarios de la prevención; y los que están mejor situados para detectar los problemas y comprobar la eficacia de las soluciones.

C. Conocer las sustancias químicas

En épocas muy remotas, los peligros a los que tenía que enfrentarse el ser humano, procedían de la propia naturaleza. Tuvo entonces que ir aprendiendo de ella. Así fue adquiriendo experiencia y desarrollando estrategias para aprovechar lo bueno que le ofrecía y evitar aquello que pudiera causarle daño. Durante el siglo pasado, volvió a enfrentarse con peligros, pero en este caso no provenían de la naturaleza. La industrialización, los avances en la química, a la vez que iban determinando progresos creaban nuevos riesgos.

Es enorme el número de sustancias, tanto procedentes de la naturaleza como fabricadas artificialmente, que se utilizan en la industria, en la agricultura, en el sector de los servicios y en nuestra propia casa. En la actualidad, existen más de un millón de sustancias químicas y, de ellas, entre 40,000 y 50,000 presentan algún peligro. Muchas de estas sustancias no son, en modo alguno, inofensivas aunque a primera vista pudieran parecerlo. Solo un pequeño porcentaje ha sido investigado respecto a su capacidad para producir enfermedades. Del resto se desconocen los posibles efectos en la salud, así como los derivados de asociaciones de sustancias (sinergias).

1. ¿Qué son los tóxicos? Un buen número de las sustancias con las que estamos en contacto son tóxicas. Es decir, son sustancias que en contacto con el organismo pueden ocasionar daños. De hecho, podemos considerar que todas las sustancias son tóxicas. Todo depende de la dosis.

Las alteraciones provocadas por los tóxicos pueden ser superficiales (en la piel y mucosas) o internas (en órganos y tejidos). El contacto con los tóxicos puede pasarnos desapercibido y, sin embargo, causamos un daño. Es más cuando no huelen, no se ven o no producen sensaciones o molestias inmediatas, son más peligrosos porque no sentimos la necesidad de protegernos.

Las sustancias tóxicas tienen dos tipos de efectos. El primer tipo es inmediato (desde unos segundos hasta algunos días) como: quemaduras, irritaciones de la piel o las mucosas (picores en los ojos o en la garganta), dificultad para respirar, náuseas, debilidad, somnolencia, lesiones en hígado o riñones, etc. El segundo tipo es tardío (meses o años después de la exposición) como: alergias, cánceres, enfermedades de la reproducción y hereditarias, del sistema nervioso, del aparato respiratorio, cardiovascular, etc.

2. Conoce lo que usas. La forma más rápida de saber qué sustancias tóxicas se manipulan es por medio de la etiqueta. La etiqueta es la primera información que recibe el usuario sobre el producto. Por tanto, es importante que todos, aprendamos a leer y sobre todo a comprender las etiquetas. La etiqueta debe figurar en el recipiente de origen y en cada uno de los envases sucesivos tras su trasvase que contengan productos peligrosos.

La Figura 3 muestra la información básica que una etiqueta de una sustancia química debe contener.

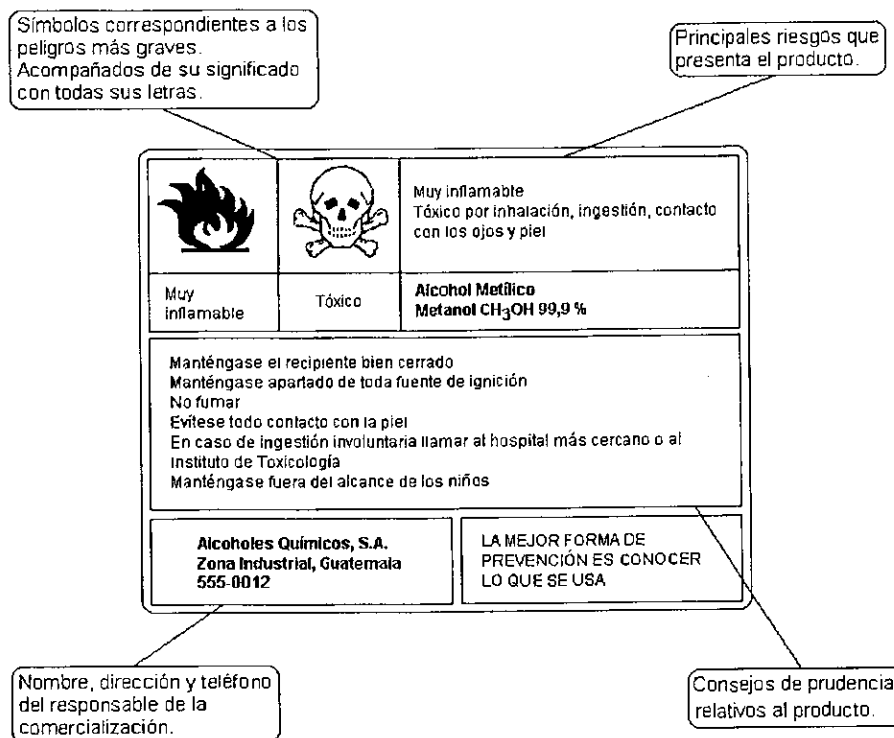
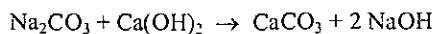


Figura 3: Esquema básico de la etiqueta de una sustancia química.

Además de la etiqueta, todos los productos deben comercializarse acompañados de unas fichas de datos de seguridad que tienen obligación de facilitar los fabricantes, importadores o distribuidores. Son sin duda alguna, un instrumento eficaz para obtener información adicional sobre los riesgos de las sustancias químicas.

D. Hidróxido de sodio (NaOH) (sosa cáustica)

El hidróxido de sodio es una sustancia incolora e higroscópica que se vende en forma de trozos, escamas, hojuelas, granos o barras. Se disuelve en agua con fuerte desprendimiento de calor y la disolución acuosa se denomina lejía de sosa. Tanto la sosa cáustica como la lejía atacan la piel. En su mayor parte la sosa cáustica y la lejía de sosa se obtienen en la electrólisis cloro álcali. Sin embargo, se obtiene una pequeña parte por caustificación de carbonato de sodio. Se calienta una solución de carbonato de sodio con la cantidad correspondiente de cal apagada (hidróxido de calcio), así precipita el carbonato de calcio insoluble y en la solución queda hidróxido de sodio. De este método se obtiene el nombre de sosa cáustica para el hidróxido de sodio.



1. **Aplicaciones.** La sosa cáustica tiene muchas aplicaciones en la industria química, principalmente en forma de lejía de sosa, que se prepara donde ha de usarse y en cualquier concentración deseada por disolución en agua de la sosa sólida. Como campos principales de empleo citaremos a las industrias de algodón, seda artificial, plásticos, textiles y de jabón, así como en la fabricación de diversos productos químicos, etc.

2. **Almacenaje.** Como la sosa cáustica sólida es fuertemente higroscópica y reacciona rápidamente con el CO_2 del aire, formando carbonato de sodio, se envasa herméticamente en tambores y así se almacena y distribuye. Como material de construcción para envases y depósitos es adecuado el hierro. El aluminio no puede emplearse porque la lejía de sosa la disuelve formando aluminato, pero es posible emplear plásticos para el recubrimiento de vasijas.

3. Equipo de protección personal.

a. **Protección respiratoria.** De 2 a 20 mg/m^3 usar respirador con cartuchos para nieblas de sosa (cubre nariz y boca) con un filtro para partículas de alta eficiencia. De 21 a 200 mg/m^3 usar mascarilla tipo barbilla (respirador que cubre cara, nariz, boca y ojos) y equipo autónomo con suministro de aire a presión. Más de 200 mg/m^3 usar equipo de respiración autónoma con aire a presión y traje encapsulado.

b. **Protección para la piel.** Usar traje completo, botas y guantes de neopreno, polivinil de cloruro (PVC), hule natural o nitrilo. Las botas por dentro del pantalón.

c. **Protección para los ojos.** Usar goggles y careta facial contra salpicaduras.

d. **Higiene.** Evitar el contacto con la piel y evitar respirar neblinas. No comer, no beber y no fumar en el área donde se maneja la sosa. Lavarse las manos antes de comer, beber o usar el retrete. Lavar con agua la ropa o equipo de protección contaminado antes de ser usado nuevamente.

e. **Ventilación.** La necesaria para mantener la concentración en el aire por debajo de 2 mg/m^3 . Ventilación directa al exterior e independiente.

f. Otras medidas. Regaderas de emergencia y lavaojos deben estar cerca de los lugares donde se maneja la sosa. Se recomienda hacer las siguientes pruebas médicas al personal potencialmente expuesto a sosa cáustica: rayos X de pulmones y pruebas de funcionalidad pulmonar.

4. Riesgos de fuego o explosión. Como medio de extinción se puede utilizar CO₂, niebla de agua o espuma; no utilizar agentes extintores halogenados. El procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios son aislar de 25 a 50 metros para derrames pequeños y de 800 metros en todas direcciones si un carro tanque o pipa se ve involucrada en un incendio. Es recomendable alejarse si se presentan ruidos, deformaciones o decoloración en los recipientes. Evaluar los riesgos y hacer un plan de ataque.

Enfriar los recipientes y tanques de almacenamiento con niebla de agua; no aplicar el agua directamente o al interior de los recipientes. La sosa cáustica en cualquiera de sus presentaciones comerciales, es un material no combustible, no inflamable y no explosivo. Sin embargo, usar agua en un incendio donde se involucre la sosa cáustica, pudiera generar calor por la dilución de la sosa y que en un momento dado pudiera agravar las condiciones del incendio.

5. Riesgos de reactividad. La sosa cáustica es una sustancia estable. No obstante, las condiciones que se deben evitar son las de almacenar o transportar sosa cáustica al 48.5% peso de concentración con las siguientes sustancias incompatibles: reacciona violentamente con hidrocarburos clorados, acetileno, aluminio, amoníaco, trifluoruro de cloro, ácido acético, acetaldehído, anhídrido acético, alcohol alílico, cloruro alílico, clorhidrina, pentóxido de fósforo, ácido clorosulfónico, etileno, fósforo, ácido sulfúrico, alcohol metílico, agua, cianuros, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, ácido nítrico, nitrometano, nitroetano, nitropropano, pentanol, zinc, plomo, estaño.

6. Riesgos a la salud (toxicidad).

a. Inhalación. La inhalación de nieblas de sosa de 2 a 8 mg/m³ puede causar ligeras irritaciones en las vías respiratorias. Concentraciones superiores pueden causar quemaduras más severas del tracto respiratorio (edema), resuello muy ruidoso, daños a los pulmones como edema y neumonía química, falla respiratoria.

b. Ingestión. Los niveles de efectos tóxicos pueden ser desde irritación hasta severas quemaduras de labios, boca, lengua, garganta, esófago y estómago después de pocos minutos de haber tragado la sosa, respiración corta y agitada, piel fría, salivación profusa, dolor abdominal, náuseas y vómito con sangre. Una aparente recuperación puede detenerse por la perforación del esófago o perforación

gástrica desarrollando mediastinitis, peritonitis, fiebre intensa y acidosis metabólica. La muerte puede ocurrir por shock, asfixia por edema glótico o infección por neumonía.

c. Ojos (contacto). Principal riesgo de exposición. Los niveles de efectos tóxicos pueden ser desde irritación, severas quemaduras de cornea, conjuntiva y tejido episcleral, quemosis, fotofobia o visión limitada a la percepción de la luz, desintegración y desprendimiento del epitelio de la conjuntiva y de la cornea, edema comeal, ulceración y opacidad, isquemia timbal, adhesión de los párpados con el globo ocular, sobrecrecimiento de cornea por vascularización de membranas y opacidad corneal permanente. Daños de las estructuras intraoculares (retina) y perforación del globo ocular es raro que ocurran.

d. Piel (contacto y absorción). Mayor riesgo de exposición. Los niveles de efectos tóxicos pueden ser desde irritación y dolor, dermatitis irritante primaria, múltiples quemaduras con pérdida temporal de cabello, deterioro del material queratinoso, edema intracelular, quemaduras profundas y corrosión del tejido y ulceraciones profundas (destrucción de piel y tejidos). Exposiciones a nieblas o polvos cáusticos pueden causar múltiples ulceraciones o quemaduras pequeñas y pérdida temporal de cabello.

El contacto repetido con esta sustancia y a bajas concentraciones puede causar dermatitis crónica y ulceraciones de los pasajes nasales. No se conocen otros efectos a largo plazo sobre los organismos vivos. En términos de la dosis total los cáusticos alcalinos han matado humanos adultos que los han ingerido en cantidades menores de 10 gramos.

7. Emergencias y primeros auxilios

a. Inhalación. Mover a la víctima a un lugar con aire fresco. Puede suministrar oxígeno húmedo con borboteador. Si la respiración ha cesado administrarle respiración artificial. Consultar a un médico de inmediato.

b. Ingestión. Si la persona está consciente darle a beber agua fría, leche o leche de magnesio en cantidades de 228.6 ml (8 onzas) para adultos y 114.3 ml (4 onzas) para niños con el objeto de diluir y neutralizar la sosa. No inducir el vómito. Canalizar a la víctima para lavados gástricos.

c. Ojos (contacto). Lavar los ojos con abundante agua corrediza ocasionalmente girando el globo ocular y abriendo y cerrando los párpados con el objeto de lavar perfectamente toda la superficie del ojo. Hacer el lavado al menos durante 30 minutos. Aplicar una solución salina al 0.9% para restablecer el pH.

d. Piel (contacto y absorción). Retirar la ropa contaminada inmediatamente y lavar la piel con abundante agua corrediza mínimo durante 30 minutos de preferencia bajo una regadera de emergencia. Puede lavarse posteriormente con una solución diluida de ácido bórico o vinagre.

E. Alcohol metílico (CH₃OH) (metanol)

El alcohol de madera, alcohol metílico o metanol, es el más simple de los alcoholes. Antes se preparaba por destilación destructiva de la madera, pero hoy en día casi todo el metanol producido es de origen sintético, elaborado a partir de hidrógeno y CO. Al ser ingerido en forma líquida o inhalado en vapor, el metanol puede resultar peligroso. El metanol tiene un punto de fusión de -97.8°C y un punto de ebullición de 64.7°C. Su densidad relativa es de 0.7915 a 20°C.

1. Aplicaciones. El metanol se utiliza para desnaturalizar alcohol etílico, como anticongelante, disolvente para gomas y lacas, así como en la síntesis de compuestos orgánicos como el metanal (formaldehído); es un disolvente que se emplea en la fabricación de plásticos, pintura y barnices. Un derivado químico del metanol se utiliza en combustibles alternativos para reducir las emisiones exhaustivas de contaminantes.

2. Almacenaje. Es recomendable conservarlo alejado del calor y de fuentes de ignición, agentes de oxidación, ácidos y bases; almacenarlo en un lugar seco y bien ventilado, en un sistema totalmente cerrado (hermético). El metanol no es corrosivo en contacto con la mayoría de los metales a temperatura ambiente, excepto plomo y magnesio. Revestimientos de cobre (o aleaciones), zinc (por ejemplo, acero galvanizado) o aluminio no son adecuados ya que son atacados lentamente. Se recomienda almacenarlo en recipientes de vidrio resistentes y gruesos.

3. Equipo de protección personal.

a. Protección respiratoria. Llevar un aparato respirador adecuado cuando la concentración supera los valores límites de 260 mg/m³ (200 ppm) durante ocho horas y de 1,300 mg/m³ (1,000 ppm) durante 15 minutos. El olor no es advertencia suficiente de la exposición.

b. Protección para la piel. Utilizar guantes y ropa de seguridad hechos de materiales apropiados como caucho al butilo o caucho nitrílico.

c. Protección para los ojos. Utilizar pantalla facial y gafas de seguridad con protectores laterales.

d. Ventilación. En zonas confinadas se debe asegurar ventilación general y extracción localizada para mantener las concentraciones encima de los valores límite. El diseño de los sistemas de ventilación debe cumplir con las normas de ingeniería aprobadas.

4. Riesgos de fuego o explosión. El metanol quema con una llama limpia e incolora que es casi invisible a la luz del día. Por ello, debe colocarse del lado del viento. En caso de un incendio pequeño se debe utilizar polvo, anhídrido carbónico, agua pulverizada o espuma regular. Si fuera un incendio mayor es recomendable utilizar agua pulverizada o espuma resistente al alcohol con un sistema dosificador de espuma al 3 o 6%. Es muy importante que el extinguir el metanol con un chorro de agua es ineficaz, ya que las concentraciones de metanol superiores al 25% en agua pueden reencenderse. Los productos de descomposición peligrosos son CO, CO₂ y formaldehído.

5. Riesgos de reactividad. El metanol es estable en condiciones normales. Sin embargo, se debe conservar alejado de fuentes de calor, fuentes de ignición, agentes de oxidación, ácidos, halógenos, bases o aminas, debido a que reacciona con agentes de oxidación, ácidos fuertes y bases fuertes. Puede corroer el plomo y el aluminio.

6. Riesgos a la salud (toxicidad). El metanol es metabolizado en el hígado, en la mitocondria del hepatocito, por la enzima alcohol deshidrogenasa a formaldehído y subsecuentemente por la enzima aldehído deshidrogenasa a ácido fórmico. La acidosis sistémica es causada por el ácido fórmico y por el ácido láctico que se genera por el estado de deterioro generalizado del paciente; mientras que la ceguera es causada principalmente por el formato. El metanol es absorbido y rápidamente distribuido por el agua del cuerpo. No se une a proteínas. Es metabolizado lentamente por la enzima alcohol deshidrogenasa. La vida media oscila entre 2 y 24 horas. Apenas cerca del 3% es excretado sin cambios por el riñón y menos del 10% a través del pulmón.

La dosis letal del metanol está estimada en 30 y 240 ml (20 y 150 gramos). La dosis tóxica mínima es aproximadamente de 100 mg/kg. Se pueden encontrar niveles elevados de metanol en sangre luego de exposición dérmica extensa o por inhalación. Una concentración sérica de 40 mg/kg es mortal.

a. Inhalación. La inhalación de concentraciones elevadas causa irritación de las mucosas, cefaleas, somnolencia, náusea, confusión, pérdida del conocimiento, trastornos gastrointestinales y trastornos de la visión, hasta llegar a la muerte.

b. **Ingestión:** Después de la ingestión, los pacientes intoxicados con metanol pueden presentar cefalea precoz (generalmente de tipo pulsante), gastritis, embriaguez, náuseas, vómito, poco diferenciables de la intoxicación etílica. Por encima de 30 horas, se presenta acidosis metabólica severa, desórdenes visuales, ceguera, convulsiones, coma y puede ocurrir la muerte. Los pacientes describen alteraciones visuales como visión borrosa, fosfenos, escotomas, colores alrededor de los objetos y otros. En el examen del fondo de ojo se puede evidenciar hiperemia del disco óptico o papiledema. La midriasis precoz y no reactiva es un signo de mal pronóstico y significa pérdida irreparable de la función visual.

c. **Ojos (contacto).** La alta concentración de vapor o el contacto con líquido causa irritación ocular, lacrimación y sensación de ardor.

d. **Piel (contacto y absorción).** Contacto repetido con la piel puede causar irritación, sequedad y grietas. Además, puede ser absorbido por la piel en concentraciones tóxicas o letales.

7. Emergencias y primeros auxilios.

a. **Inhalación.** Llevar a la víctima a un espacio ventilado y si es necesario aplicar respiración artificial. Es muy importante consultar a un médico lo más pronto posible.

b. **Ingestión.** Es importante no inducir al vómito y llamar inmediatamente a un cuerpo de socorro. El personal paramédico puede iniciar la administración de líquidos endovenosos y el vendaje ocular precoz. El objetivo fundamental es evitar la degradación del metanol a formaldehído y a ácido fórmico, además de extraer totalmente el tóxico y neutralizar sus efectos metabólicos.

c. **Ojos (contacto).** Lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos, abriendo y cerrando los párpados para asegurar un buen lavado. Consultar a un médico o servicio médico.

d. **Piel (contacto y absorción).** Retirar la ropa antes de lavarse con abundante agua y jabón durante 15 minutos. Es posible que se produzcan irritaciones por lo que es recomendable consultar a un médico.

VII. MÉTODO DE PRODUCCIÓN DEL BIODIESEL

A. Introducción

Fabricar el combustible propio a partir del aceite vegetal puede ser sencillo, económico y beneficioso para el medio ambiente. Este combustible tiene el valor añadido de que se puede producir a partir de aceite vegetal usado. Con un poco de conocimiento y dedicación, se podrá hacer funcionar cualquier motor diesel con combustible elaborado a partir de aceite vegetal.

Inicialmente, se debieron comprobar los métodos recomendados por otros investigadores acerca de la elaboración del biodiesel. Para ello se elaboró una guía metodológica de laboratorio con la finalidad de seguir adecuadamente los pasos en la producción de biodiesel y así no cometer errores, y lo más importante, saber cuáles son los riesgos de accidente que se presentan en esta práctica, principalmente con la manipulación de las sustancias químicas como metanol e hidróxido de sodio (sosa cáustica). De esta manera, se debió utilizar el equipo de protección básico: lentes, mascarilla, guantes, bata, pantalones largos, botas, entre otros.

La primera fase consistió en la elaboración de biodiesel a partir de aceite de girasol nuevo. Como ya se ha mencionado anteriormente, se debió primero comprobar el método que la mayoría de autores presentan, ya que para un aceite vegetal nuevo se tienen las cantidades exactas de reactivos. En otras palabras, se tiene definida la cantidad de catalizador (sosa cáustica) para la reacción.

Por su parte, la segunda fase consistió en la elaboración de biodiesel a partir de una muestra del aceite de girasol usado en dicha industria. En esta parte, el problema era determinar la cantidad de catalizador necesario para poder obtener una buena reacción y, por ende, una efectiva reacción de transesterificación.

Adicionalmente, se elaboraron dos muestras más de biodiesel mezclado con diesel: B20 y B50. La primera muestra (B20) tiene un bioestiraje de 20% de biodiesel y 80% de diesel, y la segunda muestra (B50) tiene un bioestiraje de 50% biodiesel y 50% diesel. Para la elaboración del biodiesel utilizado en estas muestras, se siguió básicamente el mismo procedimiento del biodiesel a partir de aceite de girasol usado. Estos procedimientos se detallan a continuación.

B. Descripción del método

Este experimento comporta trabajar con sustancias químicas peligrosas cuando producimos el biodiesel. Tanto el metanol como la sosa cáustica son bases fuertes. Pueden llegar a destruir terminaciones nerviosas y causar daños irreversibles en la piel y en nuestros pulmones si lo inhalamos. Por este motivo, es recomendable leer con atención el capítulo relativo a la seguridad.

1. **Materiales y equipo.** Los materiales y equipo necesarios para la realización del biodiesel a partir de aceite de girasol se enlistan a continuación:

- a. Aceite de girasol nuevo y usado
- b. Metanol (99.997%)
- c. Hidróxido de sodio laminado (100%)
- d. Agua destilada
- e. Alcohol isopropil puro
- f. Fenolftaleína
- g. Agitador eléctrico o magnético
- h. Estufa eléctrica
- i. Olla de acero inoxidable
- j. Balanza analítica
- k. Recipientes *pyrex*
- l. Recipientes plásticos
- m. Probeta de 100 ml
- n. Matraz (*Erlenmeyer*) de 1000 ml
- o. Vaso de laboratorio (*Beaker*) de 500 ml
- p. Bureta de 10 ml
- q. Termómetro
- r. Medidor de pH o papel pH
- s. Jeringa
- t. Filtros de cinco micras de poro
- u. Colador
- v. Diesel

2. **Procedimiento con aceite de girasol nuevo.** A continuación se describen los pasos que se llevaron a cabo.

a. Con la probeta se midieron 1.8925 litros ($\frac{1}{2}$ galón) de aceite de girasol y se vertieron en la olla de acero inoxidable para calentarlo en la estufa eléctrica hasta una temperatura de 50°C .

b. La cantidad de metanol es el 20% de la cantidad de aceite, de tal manera que se midieron 0.3785 litros de metanol y se introdujeron en el recipiente erlenmeyer para ser agitado junto con la sosa cáustica en el agitador magnético.

c. En la balanza analítica se pesaron 6.6 gm de hidróxido sódico (sosa cáustica laminada). Se sabe que para un aceite nuevo se necesitan 3.5 gm de catalizador. Esta cantidad se introdujo en el recipiente con metanol. Ahora se produce una sustancia tóxica denominada metóxido de sodio que es necesario no respirar bajo ningún concepto.

d. Este metóxido de sodio se agitó durante más de 10 minutos hasta que la sosa quedó disuelta en el metanol. Cabe aclarar que en un principio se utilizó el agitador eléctrico para este paso. Sin embargo, en las siguientes pruebas se utilizó el agitador magnético que resulta más eficiente. El metanol y la sosa cáustica en el agitador eléctrico se muestran en la Figura 4 y, en el agitador magnético, se muestran en la Figura 5:



Figura 4: Metanol y sosa cáustica en el agitador eléctrico.

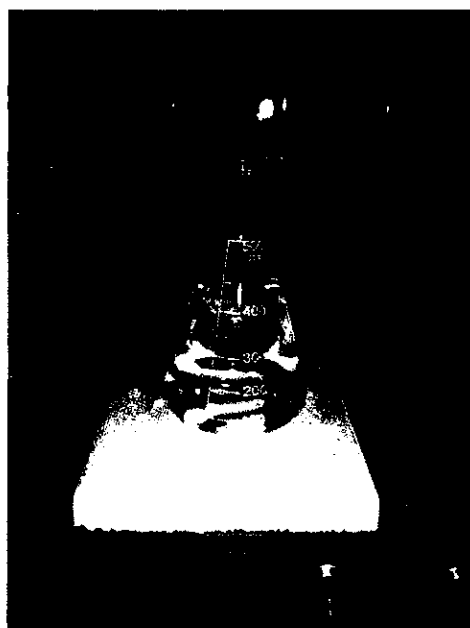


Figura 5: Metanol y sosa cáustica en el agitador magnético.

e. Se vertieron seguidamente el aceite de girasol y el metóxido de sodio en el recipiente del agitador eléctrico y se batió el conjunto durante una hora aproximadamente (*vid.* Figura 6).



Figura 6a: Vertido de metóxido de sodio en aceite.

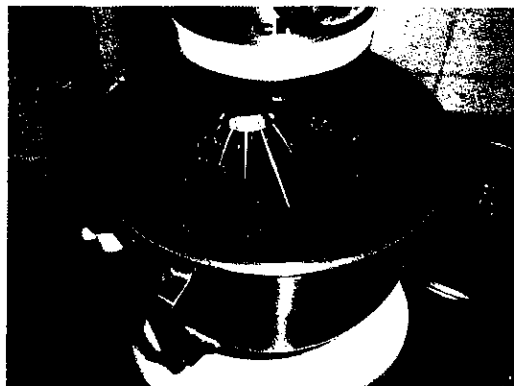


Figura 6b: Mezcla de aceite (usado) con metóxido de sodio.

f. La mezcla se introdujo en el recipiente *pyrex* (*vid.* Figura 7) y se dejó reposar durante toda la noche para que se definieran las dos fases de la mezcla: biodiesel y glicerina. Realmente, no hace falta esperar tanto tiempo; unas ocho horas son suficientes para que se definan las dos fases.



Figura 7a: Vertido de mezcla en recipiente.



Figura 7b: Total de la mezcla.

g. Con la ayuda de la jeringa se aspiró el biodiesel de la superficie y se filtró en otro recipiente *pyrex*. A continuación se vertió todo este contenido en un recipiente plástico y se rotuló para su posterior análisis. Las Figuras 8 y 9 muestran la mezcla que se encontró al siguiente día. En ellas podemos apreciar el sedimento (de un color más oscuro) en el fondo.



Figura 8: Mezcla con más de ocho horas en reposo.

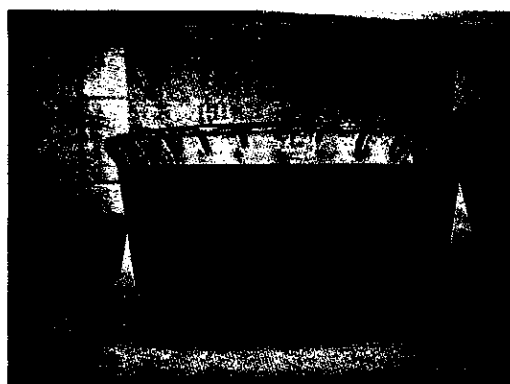


Figura 9: Vista de sedimento en el fondo.

Las Figuras 10 y 11 muestran el biodiesel extraído y el nuevo recipiente con el colador para filtrar el biodiesel, respectivamente.



Figura 10: Biodiesel extraído.



Figura 11: Filtrado del biodiesel.

h. El sedimento (glicerina) (*vid.* Figura 12) se vertió en un recipiente plástico pequeño (*vid.* Figura 13). Este también se rotuló y se dejó en un lugar seguro para que, pasada una semana aproximadamente, el resto del metanol pudiera evaporarse. Luego se tiene un sofisticado jabón. Cabe mencionar que existe otro procedimiento para purificar esta glicerina. Sin embargo, para la finalidad de este proyecto no se explora ese campo.



Figura 12: Sedimento (glicerina).

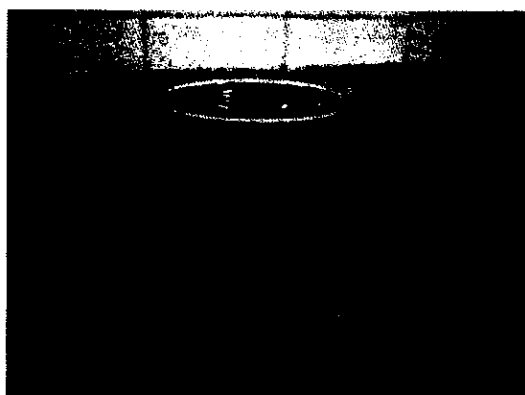


Figura 13: Recipiente con la glicerina.

3. Procedimiento con aceite de girasol usado. Básicamente el procedimiento es el mismo que con aceite nuevo, a diferencia del proceso de filtrado y calentado del aceite. Como ya se ha dicho, el problema ahora es encontrar la cantidad exacta de catalizador necesaria. A continuación se describen los pasos de este procedimiento.

a. Se filtró un galón de aceite de girasol usado en el papel filtro para eliminar los residuos de comida y otras partículas indeseadas. Luego se calentó la mitad en la olla de acero inoxidable hasta una temperatura de 100°C aproximadamente, es decir, hasta que hirviera con el propósito de evaporar el agua residual.

b. Se preparó una solución de sosa cáustica al 0.1% con 1000 ml de agua destilada y 1 gm de sosa. Realmente, no hace falta hacer tal cantidad de esta solución, ya que se utiliza poco; la mitad puede ser más que suficiente.

c. En el *beaker*, se disolvió 1 ml de aceite en 10 ml de alcohol isopropil y se añadieron dos gotas de fenolftaleína.

d. Gota a gota se fue agregando la solución de sosa hasta que la muestra permaneciera rosada durante 10 segundos. Para ello empleamos la bureta.

e. Se determinó que con 40 gotas permanecía rosada durante el tiempo establecido. De esta manera, la cantidad de gramos de sosa necesaria para nuestro aceite de girasol usado se calculó con la siguiente relación:

$$\begin{aligned}(\# \text{ gotas} / 20 \text{ gotas}) + 3.5 &= \text{gm de sosa} \\(40 \text{ gotas} / 20 \text{ gotas}) + 3.5 &= 5.5 \text{ gm de sosa}\end{aligned}$$

Es importante notar que esto significa 5.5 gm de sosa por litro de aceite.

f. A partir de ahora se siguió el mismo procedimiento del aceite de girasol nuevo, con la excepción de agregar 10.4 gm de sosa cáustica al metanol.

Las siguientes figuras muestran algunas de las fotos tomadas del proceso con el aceite usado. La Figura 14 muestra la mezcla luego de haber batido el aceite usado con el metóxido de sodio por una hora. La Figura 15 muestra la mezcla ya sedimentada (pasadas más de ocho horas). En ella se puede apreciar el sedimento en el fondo. Las Figuras 16 y 17 corresponden al biodiesel y a la glicerina. La Figura 18 muestra el biodiesel ya filtrado y la Figura 19 muestra los recipientes con las dos muestras de biodiesel: la elaborada a partir de aceite de girasol nuevo y la elaborada a partir de aceite de girasol usado. Finalmente, la Figura 20 muestra al equipo de ingenieros y colaboradores.



Figura 14: Mezcla luego de ser batida por una hora.



Figura 15: Mezcla reposada (más de ocho horas).



Figura 16: Biodiesel extraído de la mezcla.



Figura 17: Glicerina recuperada del fondo.



Figura 18: Biodiesel filtrado.



Figura 19: Muestras etiquetadas para enviar al laboratorio. La muestra más clara corresponde al biodiesel elaborado a partir de aceite nuevo, mientras que la más oscura, al elaborado a partir de aceite usado.



Figura 20: Equipo de ingenieros y colaboradores.

C. Muestras B20 y B50

Como se expone en el siguiente capítulo, las pruebas de análisis del biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol nuevo y usado no cumplen con todas las especificaciones del diesel 2D y del biodiesel B100. Por tal motivo, se realizaron las muestras B20 y B50, esto es, muestras con 20% de biodiesel y 80% de diesel, y 50% de biodiesel y 50% de diesel, respectivamente. Los resultados de las pruebas de análisis de estas muestras también se presentan en el siguiente capítulo.

1. **Procedimiento.** Básicamente, se siguió el mismo procedimiento del aceite de girasol usado. Las modificaciones fueron que el aceite de girasol usado se filtró dos veces para tener un aceite más limpio, se utilizó más sosa cáustica ya que el procedimiento de titulación así lo indicó, y el biodiesel obtenido se calentó a una temperatura de 70°C. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

a. Se filtró un poco más de dos litros de aceite usado en papel filtro, debido a que se observó que el aceite contenía bastantes residuos de comida y otras partículas. Esto se realizó dos veces.

b. El aceite filtrado se calentó hasta los 100°C para evaporar el agua residual.

c. Se determinó la cantidad de catalizador necesaria de la misma manera como se expuso anteriormente en el procedimiento con aceite de girasol usado. Esto es, se preparó la solución de sosa cáustica al 0.1%, se disolvió 1 ml de aceite en 10 ml de alcohol isopropil y se le añadieron dos gotas de fenolftaleína. Así, se vertió gota a gota la solución de sosa cáustica y se determinó que con 45 gotas la solución permanecía rosada. Por ello, ahora se utilizaron 5.75 gm de sosa cáustica por litro de aceite.

d. A partir de ahora se siguió el mismo procedimiento: se midieron dos litros (2,000 ml) de aceite, 0.4 litros (400 ml) de metanol y 11.5 gm de sosa cáustica. Como resultado se obtuvieron 1.95 litros (1,950 ml) de biodiesel aproximadamente. El pH estuvo entre siete y ocho.

e. Luego se filtró y se calentó el biodiesel hasta una temperatura de 70°C para eliminar las trazas de metanol. Ahora se determinó que el pH fue de siete.

f. Para la muestra B20, se midieron 1.6 litros (1,600 ml) de diesel y se vertieron en un recipiente, luego se midieron 0.4 litros (400 ml) del biodiesel y se mezclaron con el diesel. De igual forma, para la muestra B50, se midieron un litro (1,000 ml) de diesel y un litro (1,000 ml) de biodiesel y se mezclaron.

- g. Finalmente, se debió rotular las muestras para poder enviarlas al laboratorio (*vid.* Figura 21).

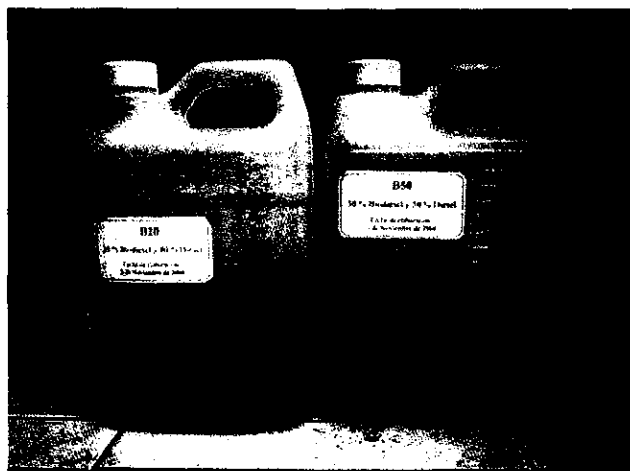


Figura 21: Muestras B20 y B50 etiquetadas para enviar al laboratorio.

VIII. PRUEBAS DE ANÁLISIS DEL BIODIESEL

A. Introducción

En este capítulo se muestran los resultados de los análisis de las muestras de biodiesel elaboradas a partir de aceite vegetal nuevo y usado, así como de las muestras B20 y B50. Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de Muestras del Ministerio de Energía y Minas. Copias de estos resultados se muestran en el Apéndice de este trabajo.

Repasaremos primero algunos aspectos determinantes en la eficiencia de un combustible.

B. Aspectos para determinar la eficiencia de un combustible

1. **Valor calorífico.** El calor de combustión de los combustibles puede calcularse a partir de datos termoquímicos relativos a los calores de formación. Los hidrocarburos tienen pocos competidores en lo que se refiere al poder calorífico, por kilogramo o por litro de combustible, en especial si se tiene en cuenta la facilidad para su producción.

2. **Volatilidad.** La volatilidad tiene mucha importancia para el rendimiento de un combustible. Es necesario tener en cuenta este parámetro, el diseño del motor, la instalación del motor, la temperatura y la presión atmosférica en el punto en que se usa, llegando a una transacción satisfactoria entre todos estos factores.

3. **Viscosidad.** La fluidez de los combustibles derivados del petróleo es un factor importante en su uso general. En los combustibles destilados del petróleo se tropieza con pocas dificultades, a excepción de las condiciones frías. Para los combustibles más viscosos, como los aceites pesados diesel, se prueba la fluidez por los métodos ASTM para la viscosidad, el punto de turbiedad y derrame, las cenizas, el agua y los sedimentos.

4. **Estabilidad de almacenamiento.** Como sucede con casi todos los materiales orgánicos, el almacenamiento de la gasolina durante largo tiempo, incluso a temperatura moderada, puede conducir a una ligera oxidación y a la formación de materiales gomosos que pueden provocar dificultades en el sistema de combustible de un motor.

5. Seguridad. Debido a que los hidrocarburos volátiles presentan peligro de incendio y algunos aditivos como el tetraetiluro de plomo son venenosos, es necesario eliminar los peligros propios del manejo y almacenaje. Si la mezcla de combustibles y aire se encuentra dentro de los límites explosivos, puede producirse un incendio o una explosión. El peligro de incendio puede evitarse manteniendo la concentración del combustible tan baja que sea inferior al límite inferior de explosión en las mezclas pobres, o bien, superior para las mezclas ricas.

C. Resultados de los análisis

Como ya se ha mencionado, copias de estos resultados se muestran en el Apéndice. No obstante, se presentan las tablas con dichos resultados. La Tabla 4 muestra los resultados de análisis de la muestra de biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol nuevo, y la Tabla 5 muestra los del biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol usado. Además, se presenta una tabla comparativa (*vid.* Tabla 6) con las especificaciones del diesel 2D, del biodiesel B100 y de las muestras analizadas.

Posteriormente, se presentan las Tablas 7 y 8 con los resultados de análisis de las muestras B20 y B50, respectivamente. De igual forma, se incluye una tabla comparativa (*vid.* Tabla 9) de estos resultados con las especificaciones del diesel 2D y con las del biodiesel B100.

Tabla 4: Resultados de análisis de muestra de biodiesel de aceite nuevo.

Descripción	Método de análisis	Resultados	
Azufre, % peso	ASTM D-129	0.02	
Corrosión en la tira de cobre, 3 hrs. @ 122°F	ASTM D-130	1	
Calor de combustión, kcal/kg (kJ/kg)	ASTM D-240	9,221 (38,599)	
Gravedad API @ 60°F (Gravedad específica @ 60°F)	ASTM D-287	24.4 (0.907)	
Viscosidad cinemática @ 100°F, cSt ó mm ² /s	ASTM D-445	11.1	
Cenizas, % peso	ASTM D-482	0.006	
Destilación, 760 mm de mercurio (Hg) en base a recuperado, °F	ASTM D-86	Volumen %	Recuperado °F
		P. inicial	129
		5	589
		10	621
		15	625
		20	629
		30	636
		36	650

Tabla 5: Resultados de análisis de muestra de biodiesel de aceite usado.

Descripción	Método de análisis	Resultados	
Azufre, % peso	ASTM D-129	0.02	
Corrosión en la tira de cobre, 3 hrs. @ 122°F	ASTM D-130	1	
Calor de combustión, kcal/kg (kJ/kg)	ASTM D-240	9,419 (39,428)	
Gravedad API @ 60°F (Gravedad específica @ 60°F)	ASTM D-287	26.6 (0.895)	
Viscosidad cinemática @ 100°F, cSt ó mm ² /s	ASTM D-445	7.6	
Cenizas, % peso	ASTM D-482	0.001	
Índice de cetano calculado	ASTM D-976	43.0	
Destilación, 760 mm de Hg en base a recuperado, °F	ASTM D-86	Volumen %	Recuperado °F
		P. inicial	589
		5	623
		10	627
		15	630
		20	632
		30	634
		40	638
		50	639
		60	643
		70	656
		80	679
85	679		

I. Observaciones. Los resultados para ambas muestras son válidos solamente para el volumen de muestra analizado. Para el biodiesel elaborado a partir de aceite vegetal nuevo, la muestra destiló hasta el 36% de recuperado y a continuación inició su descomposición. Por su parte, la muestra de biodiesel elaborado a partir de aceite vegetal usado destiló hasta el 85% de recuperado y a continuación inició su descomposición. Debido a que ambas muestras presentaban un pH de 10 y de 8, respectivamente, no se les realizó la prueba de punto de inflamabilidad por cuestiones de seguridad.

Tabla 6: Comparación de las principales especificaciones.

Descripción	diesel 2D	biodiesel B100	biodiesel (aceite nuevo)	biodiesel (aceite usado)
Azufre, % masa, máx.	0.5	0.05	0.02	0.02
Corrosión en la tira de cobre, 3 hr. @ 50°C, máx.	3	3	1	1
Calor de combustión, kJ/kg	44,790	---	38,599	39,428
Gravedad API, 60°F, mín. - máx.	30 - 40	---	24.4	26.6
Viscosidad cinemática @ 100°F, mm ² /s, mín. - máx.	1.9 - 4.1	1.9 - 6.0	11.1	7.6
Cenizas, % masa, máx.	0.01	0.02	0.006	0.001
Índice de cetano, mín.	45	47	---	43.0
Destilación, temp. (°C) al recuperar el 90%	282 - 350	360	343 (al 36%)	359 (al 85%)
Punto de inflamabilidad, °C, mín.	52	130	---	---

Tabla 7: Resultados de análisis de muestra B20.

Descripción	Método de análisis	Resultados	
Azufre, % peso	ASTM D-129	0.32	
Corrosión en la tira de cobre, 3 hrs. @ 122°F	ASTM D-130	1	
Calor de combustión, kcal/kg (kJ/kg)	ASTM D-240	10,442 (43,710)	
Gravedad API @ 60°F (Gravedad específica @ 60°F)	ASTM D-287	32 (0.865)	
Viscosidad cinemática @ 100°F, cSt ó mm ² /s	ASTM D-445	3.4	
Cenizas, % peso	ASTM D-482	0	
Índice de cetano calculado	ASTM D-976	47	
Destilación, 760 mm de Hg en base a recuperado, °F	ASTM D-86	Volumen %	Recuperado °F
		P. inicial	376
		5	420
		10	446
		20	482
		30	512
		40	534
		50	556
		60	578
		70	596
		80	614
		90	636
P. Final	670		
Punto de inflamabilidad, °F (°C)	ASTM D-93	126 (52.2)	

Tabla 8: Resultados de análisis de muestra B50.

Descripción	Método de análisis	Resultados	
Azufre, % peso	ASTM D-129	0.21	
Corrosión en la tira de cobre, 3 hrs. @ 122°F	ASTM D-130	1	
Calor de combustión, kcal/kg (kJ/kg)	ASTM D-240	10,032 (41,994)	
Gravedad API @ 60°F (Gravedad específica @ 60°F)	ASTM D-287	30.1 (0.876)	
Viscosidad cinemática @ 100°F, cSt ó mm ² /s	ASTM D-445	4.2	
Cenizas, % peso	ASTM D-482	0	
Índice de cetano calculado	ASTM D-976	47	
Destilación, 760 mm de Hg en base a recuperado, °F	ASTM D-86	Volumen %	Recuperado °F
		P. inicial	405
		5	438
		10	486
		20	530
		30	561
		40	584
		50	604
		60	619
		70	630
		80	639
		90	665
P. Final	679		
Punto de inflamabilidad, °F (°C)	ASTM D-93	125 (51.7)	

Tabla 9: Comparación de muestras B20 y B50 con diesel 2D y biodiesel B100.

Descripción	diesel 2D	biodiesel B100	biodiesel B20	biodiesel B50
Azufre, % masa, máx.	0.5	0.05	0.32	0.21
Corrosión en la tira de cobre, 3 hr. @ 50°C, máx.	3	3	1	1
Calor de combustión, kJ/kg	44,790	---	43,710	41,994
Gravedad API, 60°F, mín. - máx.	30 - 40	---	32	30.1
Viscosidad cinemática @ 100°F, mm ² /s, mín. - máx.	1.9 - 4.1	1.9 - 6.0	3.4	4.2
Cenizas, % masa, máx.	0.01	0.02	0	0
Índice de cetano, mín.	45	47	47	47
Destilación, temp. (°C) al recuperar el 90%	282 - 350	360	335.5	351.7
Punto de inflamabilidad, °C, mín.	52	130	52.2	51.7

2. Observaciones. Los resultados son válidos para el volumen de muestra presentada en el laboratorio.

D. Descripción de las propiedades fisicoquímicas

1. **Contenido de azufre.** El azufre está presente naturalmente en el petróleo, por ello, si el azufre no es eliminado durante los procesos de refinamiento, contaminará al combustible. La tendencia mundial para el diesel corresponde a una reducción del límite de azufre a 0.05%. La correlación del contenido de azufre en el diesel con las emisiones de partículas y el SO₂ está claramente establecida.

De la misma forma que las unidades de desintegración catalítica son primordiales para la producción de gasolina, la hidrodeseintegración es primordial para la producción de diesel. En estos procesos la cuestión se enfoca en la selección de la materia prima alimentada. Para poder cumplir con los requerimientos de niveles bajos de azufre, es necesario construir capacidades adicionales de desulfuración.

2. **Corrosión en la tira de cobre.** La sosa cáustica tiene una acción corrosiva en varios metales, por lo que el motor de cualquier vehículo que utilice diesel para su funcionamiento tiende a corroerse en sus partes de cobre si la sosa cáustica no es eliminada. El método está designado para acceder a la relativa degradación de los combustibles.

3. **Calor de combustión.** El calor de combustión es la cantidad de energía que puede ser obtenida teóricamente cuando un combustible es quemado en un motor o en un horno. Si el rendimiento de un motor o de un horno fuera de 100%, todo el calor de combustión sería convertido en energía útil, pero debido a que el rendimiento siempre es menor, se obtienen valores menores. Las eficiencias térmicas más comunes son del 40% para los motores diesel y del 70 al 85% para las calderas.

El calor de combustión es medido quemando una pequeña cantidad de combustible en un recipiente aislado llamado calorímetro; se calcula la cantidad de calor absorbido por el agua dentro de éste.

4. **Gravedad API.** La densidad puede ser expresada en dos escalas: la gravedad específica, definida como la razón de peso de un volumen dado a 60°F con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura; y la gravedad API. Esta escala es la más utilizada en la industria del petróleo. Es una escala arbitraria, calibrada en grados y relaciona la gravedad específica por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Gravedad API} = (141.5 / \text{gravedad específica @ } 60^{\circ}\text{C}) - 131.5$$

Como resultado de esta relación, cuanto mayor sea la gravedad específica de un producto, menor es su gravedad API. El agua tiene una gravedad específica de 1,000 y una gravedad API de 10°. La gravedad o densidad es determinada por un hidrómetro que flota en el líquido, el cual indica la escala del hidrógeno.

Algunas correcciones son necesarias de acuerdo con la temperatura de la muestra en el momento de la prueba.

La inyección de diesel en el motor esta controlada por el volumen o por el tiempo de la válvula de solenoide. Las variaciones en la densidad y viscosidad del combustible resultan en variaciones de la potencia del motor y en las emisiones y consumo. Se ha encontrado que la densidad influye en el tiempo de inyección de los equipos de inyección controlados mecánicamente.

5. **Viscosidad.** La viscosidad se define como la medida de la resistencia de un fluido a manar. Es decir, mientras más espeso o pesado sea el fluido, mayor es su viscosidad y mayor será su resistencia a fluir. La adecuada operación de los equipos depende de la apropiada viscosidad del fluido. Así, la determinación exacta de la viscosidad es esencial para la especificación de muchos productos.

La viscosidad de muchos derivados del petróleo es importante para su utilización. Por ejemplo, el flujo del combustible a través de las tuberías, inyección de boquillas y orificios, y la determinación de la temperatura apropiada de operación de los quemadores y otros equipos de combustión.

6. **Contenido de cenizas.** El contenido de cenizas en los combustibles se relaciona con la cantidad de materiales incombustibles que están presentes en el mismo. En otras palabras, indica la cantidad de aditivo presente o el grado de contaminación de sólidos no combustibles.

7. **Índice de cetano.** De la misma manera que el octanaje mide la calidad antidetonante de la gasolina, el cetanaje mide la calidad antidetonante de un diesel. El índice de cetano es una medida de la tendencia del diesel a cascabelear en el motor. La escala de cetanaje se basa en las características de ignición de dos hidrocarburos: el n-hexadecano y el heptametilnonano. El primero tiene un período corto de retardo durante la ignición y se le asigna un cetano de 100. El segundo tiene un período largo de retardo y se le ha asignado un cetano de 15. El índice de cetano es un medio para determinar la calidad de la ignición del diesel y es equivalente al porcentaje por volumen del cetano en la mezcla con heptametilnonano, la cual se compara con la calida de ignición del combustible prueba.

La propiedad deseable de la gasolina para prevenir el cascabeleo es la habilidad para resistir la autoignición, pero para el diesel la propiedad deseable es la autoignición. Típicamente, los motores se diseñan para utilizar índices de cetano entre 40 y 55; debajo de 38 se incrementa rápidamente el retardo de la ignición.

En las gasolinas, el número de octano de las parafinas disminuye a medida que se incrementa la longitud de la cadena, mientras que en el diesel, el índice de cetano se incrementa a medida que aumenta la longitud

de la cadena. Generalmente, los aromáticos y los alcoholes tienen un índice de cetano bajo, por lo que el porcentaje de gasóleos desintegrados en el diesel se ve limitado por su contenido de aromáticos. Otros factores, como la adición de un 0.5% de aditivos mejoradores de cetano, incrementan el cetano en 10 unidades. Estos aditivos contienen nitrógeno y tienden a aumentar las emisiones de óxidos de nitrógeno.

8. Destilación. Las características de la destilación de hidrocarburos tienen efectos importantes en su seguridad y rendimiento. La volatilidad es el principal determinante de la tendencia de los hidrocarburos para producir vapores explosivos. Es también importante para gasolinas de aviones, ya que afecta el encendido, la temperatura y la tendencia del vapor en altas temperaturas de operación o en elevadas altitudes.

9. Punto de inflamabilidad. Todos los productos del petróleo se queman y, bajo ciertas condiciones, sus vapores se encienden con una violenta explosión. Para que esto ocurra, la cantidad de vapor en el aire debe estar comprendida entre ciertos límites. Cuando un producto líquido de petróleo es expuesto al aire, algunos de sus vapores causan una cierta concentración de aire y vapor. Así, cuando la temperatura del líquido es elevada, cada vez más vapores se producen aumentándose la relación aire y vapor. Eventualmente se llega a la temperatura a la cual la mezcla aire y vapor puede mantener momentáneamente una combustión si una fuente de ignición está presente. Esta temperatura es el punto de la chispa del producto o punto de inflamabilidad.

Para combustibles y solventes, el punto de chispa es usualmente determinado por el método de recipiente cerrado, en el cual es calentado en una cápsula cubierta. Esto hace que las condiciones de prueba sean lo más parecidas posibles a las del producto en servicio. Productos que tengan punto de chispa menor a la temperatura ambiente deben ser enfriados antes de empezar la prueba.

Para un combustible o solvente de petróleo volátil, el punto de chispa es importante como una indicación de los peligros de fuego y explosión. Si fuera posible para cualquier aplicación, seleccionar un producto cuyo punto de chispa este por encima de cualquier temperatura ambiente esperada, ninguna medida de seguridad sería necesaria. Sin embargo, la gasolina y otros solventes livianos tienen puntos de chispa más bajos que la temperatura ambiente. Por ello, es necesaria una ventilación controlada y otras medidas para prevenir los riesgos de fuego o explosión.

Se debe recordar que el punto de chispa es la menor temperatura a la cual un producto puede mantener una combustión momentánea, si una fuente de calor está presente. No debe ser confundida con la temperatura de autoignición, la cual es la temperatura donde ocurre una combustión espontánea sin ninguna fuente externa de ignición. Los productos que tienen puntos de chispa bajos, por lo general tienen temperaturas de autoignición altas, y viceversa.

IX. GUÍA METODOLÓGICA SOBRE LA PROPUESTA DE UN EQUIPO INDUSTRIAL

A. Introducción

En el presente capítulo se aborda el estudio técnico y económico sobre la propuesta de un equipo industrial para la producción del biodiesel a una mayor escala. Se tiene como objetivo el de elaborar una guía metodológica que sirva de base para la construcción de la planta productora de biodiesel a partir de aceites vegetales usados. Es importante mencionar que existen muchas compañías dedicadas a la producción y venta de equipos industriales para este fin. Sin embargo, dichos equipos, por ser bastante sofisticados, son de muy elevado precio. Por ello, es importante conocer el proceso de producción del biodiesel y diseñar, con las mejores técnicas y conocimientos de ingeniería, un equipo que cumpla con las especificaciones del proceso y así poder garantizar la calidad del biodiesel producido a un precio más rentable.

B. Estudio técnico

Los objetivos del análisis técnico operativo de un proyecto en general son:

- Verificar la posibilidad técnica de la fabricación del producto que se pretende.
- Analizar y determinar el tamaño óptimo, la localización óptima, los equipos, las instalaciones y la organización requeridos para realizar la producción.

Hemos visto que el primer objetivo sí se puede lograr, ya que de acuerdo al método planteado anteriormente y a los análisis obtenidos de las muestras B20 y B50, sí se fabrica un combustible apto para la utilización en motores diesel. De esta manera, se plantearán los puntos claves para lograr cumplir con el segundo objetivo.

1. Determinación del tamaño óptimo de la planta. El tamaño de un proyecto es su capacidad instalada, y se expresa en unidades de producción por año. Para determinar el tamaño óptimo de la planta, se requiere conocer con mayor precisión tiempos predeterminados o tiempos y movimientos del proceso, o en su defecto, diseñar y calcular esos datos con una buena dosis de ingenio y ciertas técnicas.

La manufactura no es una función de la ingeniería sino más bien una función de negocios. Cuando se invierte en una nueva unidad productiva, debe observarse no sólo el aspecto técnico, sino también el aspecto de los negocios. El primer aspecto corresponde a la ingeniería, pero el segundo concierne a la manufactura, ya que en la empresa privada siempre se invierte para obtener una ganancia, por tanto, el primer punto importante a analizar es el tipo de manufactura que deberá emplearse para elaborar el producto bajo estudio. Debe entenderse por manufactura la actividad de tomar insumos, como las materias primas, mano de obra, energía, etc., y convertirlos en productos.

Para iniciar el análisis se hace una serie de preguntas:

a. ¿Se conoce el proceso productivo? Se sabe que todo proceso productivo está compuesto por una serie de operaciones individuales, mismas que se mencionan a continuación. El detalle con que se conoce el proceso es muy general; aunque se conocen los tiempos de cada operación, éstos dependerán del tipo de tecnología que se utilice, la cual puede ser muy automatizada o poco automatizada. Las operaciones generales para obtener biodiesel son las siguientes:

- 1) Recepción y almacenamiento del aceite vegetal usado, metanol, sosa cáustica y diesel.
- 2) Bombeo para filtraje del aceite vegetal usado y su posterior almacenamiento en otro tanque.
- 3) La cantidad de aceite necesaria pasa directamente a una marmita (tanque de acero inoxidable enchaquetado) para calentamiento a 100°C durante 15 minutos.
- 4) Enfriamiento del aceite hasta los 50°C.
- 5) Medición de la cantidad necesaria de metanol y de sosa cáustica.
- 6) Mezcla con agitación constante del metanol y de la sosa cáustica en un recipiente de acero inoxidable o de vidrio resistente durante 10 minutos. Se forma el metóxido de sodio.
- 7) Transesterificación. Se vierte el metóxido de sodio en la marmita con el aceite y se agita el conjunto durante una hora.
- 8) De la marmita se pasa a un tanque o recipiente de almacenaje alto para dejar reposar durante ocho horas.
- 9) Luego se drena del fondo el sedimento (glicerina).
- 10) La glicerina se pasa a un recipiente para que se evapore el metanol que queda. Aquí se puede ejecutar otro proceso para tratar a este subproducto.
- 11) El biodiesel se calienta hasta 70°C y se enfría hasta la temperatura ambiente.
- 12) Se mezcla con diesel convencional en un tanque de mezcla. La mezcla es en la proporción de 50%.
- 13) Por último, se almacena en un tanque para su posterior bombeo a los vehículos.

b. ¿Cuánto se desea producir? Potencialmente, se tiene un estimado de 100,000 galones anuales de aceite vegetal usado. Esto corresponde a 380 galones diarios aproximadamente (en base en 264 días al año de trabajo; 22 días al mes de trabajo). Es importante saber si todo este aceite se desea procesar diariamente, o si es más o menos lo que se pretende producir. Este dato es muy importante para acondicionar los tiempos en el proceso productivo, como los turnos de trabajo de los trabajadores, las horas de funcionamiento de los motores, etc.

c. ¿Hay restricciones de dinero para comprar equipo? Aquí se tiene la ventaja de que Guatemala cuenta con un decreto ley sobre incentivos para desarrollar proyectos de recursos renovables. (vid. Apéndice).

d. ¿Cuántos días a la semana y cuántos turnos de trabajo por día se pretende trabajar? Esto está relacionado con la cantidad diaria que se desea producir.

e. ¿Cuántas operaciones se quieren y se pueden automatizar? Automatizar significa que la operación se efectúe con una máquina y no por medios manuales.

f. ¿Se conoce el rendimiento de la materia prima en el proceso? Sí se conoce y se puede efectuar por medio del balance de materia prima. En las pruebas efectuadas resultó lo siguiente:

Tabla 10: Rendimiento de la materia prima.

1 galón de biodiesel contiene	1 galón de combustible B50 contiene
1.025 galones (3.88 lt) de aceite usado	0.5 galones de biodiesel
0.205 galones (0.776 lt) de metanol	0.5 galones de diesel
21.8 gm de sosa cáustica	

2. Factores que condicionan el tamaño de la planta.

a. La demanda. La demanda es uno de los factores más importantes para condicionar el tamaño de un proyecto. El tamaño propuesto sólo puede aceptarse en caso de que la demanda sea claramente superior. Si el tamaño propuesto fuera igual a la demanda, no sería recomendable llevar a cabo la instalación, puesto que sería muy riesgoso. Cuando la demanda es claramente superior al tamaño propuesto, éste debe ser tal que sólo cubra un bajo porcentaje de la primera, no más del 10%, siempre y cuando haya mercado libre. En nuestro caso en particular se trata de un producto que no se piensa comercializar

nacionalmente, al menos por el momento. Sin embargo, es importante saber la demanda interna, es decir, la demanda propiamente de la empresa que se desea.

b. Los suministros e insumos. El abasto suficiente en cantidad y calidad de materias primas es un aspecto vital en el desarrollo de un proyecto. Muchas grandes empresas se han visto frenadas por la falta de este insumo. Para demostrar que este aspecto no es limitante para el tamaño del proyecto, se deberán listar todos los proveedores de materias primas e insumos y se anotarán los alcances de cada uno para suministrar estos últimos. En etapas más avanzadas del proyecto se recomienda presentar tanto las cotizaciones como el compromiso escrito de los proveedores para abastecer las cantidades de material necesario para la producción.

c. La tecnología y los equipos. Hay ciertos procesos o técnicas de producción que exigen una escala mínima para ser aplicables, ya que por debajo de ciertos niveles, los costos serían tan elevados que no se justificaría la operación de la planta. Las relaciones entre el tamaño y la tecnología influirán a su vez en las relaciones entre tamaño, inversiones y costo de producción. Se puede decir que la tecnología y los equipos tienden a limitar el tamaño del proyecto al mínimo de producción necesario para ser aplicables.

d. El financiamiento. Si los recursos financieros son insuficientes para atender las necesidades de inversión de la planta de tamaño mínimo es claro que la realización del proyecto es imposible. Si los recursos económicos propios y ajenos permiten escoger entre varios tamaños para producciones similares entre los cuales existe una gran diferencia de costos y de rendimiento económico, la prudencia aconsejará escoger aquel que se financie con mayor comodidad y seguridad, y que a la vez ofrezca, de ser posible, los menores costos y un alto rendimiento de capital. Si existe flexibilidad en la instalación de la planta, esto es, si los equipos y la tecnología lo permiten, se puede considerar la implantación del proyecto por etapas como alternativa viable, aunque es obvio que no todos los equipos y las tecnologías permiten esta libertad.

e. La organización. Es necesario asegurarse que se cuenta con el personal suficiente y apropiado para cada uno de los puestos. Aquí se hace una referencia sobre todo al personal técnico de cualquier nivel, el cual no se puede obtener fácilmente en algunas localidades del país. Este aspecto no es tan importante como para limitar el proyecto, ya que con frecuencia se ha dado el caso de que, cuando se manejan avanzadas tecnologías, vienen técnicos extranjeros a operar los equipos.

3. Localización óptima del proyecto. La localización óptima de un proyecto es la que contribuye en mayor medida a que se logre la mayor tasa de rentabilidad sobre el capital (criterio privado) u obtener el costo unitario mínimo (criterio social). El objetivo general de este punto es, por supuesto, llegar a determinar el sitio donde se instalará la planta. Veremos un método que aunque parece bastante subjetivo aborda los principales puntos de la mejor localización de la planta.

a. Método cualitativo por puntos. Consiste en asignar factores cuantitativos a una serie de factores que se consideran relevantes para la localización. Esto conduce a una comparación cuantitativa de diferentes sitios. El método permite ponderar factores de preferencia para el investigador al tomar la decisión. Se sugiere el siguiente procedimiento:

1) Desarrollar una lista de factores relevantes. Por ejemplo, factores geográficos como clima, niveles de contaminación y las comunicaciones (carreteras, rutas aéreas, etc.); factores institucionales, relacionados con planes y estrategias de desarrollo y descentralización industrial; factores sociales, los relacionados con la adaptación del proyecto al ambiente y la comunidad; y los factores económicos que serán tratados posteriormente.

2) Asignar un peso a cada factor para indicar su importancia relativa (los pesos deben sumar 1.00), y el peso asignado dependerá exclusivamente del criterio del investigador.

3) Asignar una escala común a cada factor (por ejemplo, de 0 a 10) y elegir cualquier mínimo.

4) Calificar a cada sitio potencial de acuerdo con la escala designada y multiplicar la calificación por peso.

5) Sumar la puntuación de cada sitio y elegir el de máxima puntuación.

b. Ejemplo. La Tabla 11 constituye un ejemplo de cómo se asignan las puntuaciones a los sitios A y B de acuerdo al criterio del investigador.

Tabla 11: Ejemplo del método cualitativo por puntos.

Factor relevante	Peso asignado	A		B	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Materia prima disponible	0.30	6.0	1.80	5.5	1.65
Mano de obra disponible	0.20	6.5	1.30	7.0	1.40
Costos de los insumos	0.15	5.0	0.75	4.5	0.68
Cercanía del mercado	0.10	3.0	0.30	8.0	0.80
Clima (humedad)	0.25	6.0	1.50	6.5	1.62
Suma	1.00		5.65		6.15

Vemos que se escogería la alternativa B por tener la mayor puntuación ponderada. La ventaja de este método es que es bastante sencillo y rápido, pero su principal desventaja es que tanto el peso asignado, como la calificación que se otorga a cada factor relevante, dependen exclusivamente de las preferencias del investigador.


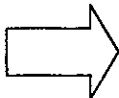

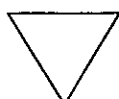


4. **Ingeniería del proyecto.** El objetivo general del estudio de ingeniería del proyecto es resolver todo lo que respecta a la instalación y el funcionamiento de la planta. Desde la descripción del proceso, adquisición de equipo y maquinaria se determina la distribución óptima de la planta, hasta definir la estructura jurídica y de organización que habrá de tener la planta productiva.

a. **Proceso de producción.** Es el procedimiento técnico que se utiliza en el proyecto para obtener los bienes y servicios a partir de insumos. Para representar y analizar el proceso productivo existen varios métodos. El empleo de cualquiera de ellos dependerá de los objetivos del estudio. Algunos son muy sencillos, como el diagrama de bloques, y hay otros muy completos, como el cursograma analítico. Cualquier proceso productivo, por complicado que sea, puede ser representado por medio de un diagrama para su análisis. Los más comunes son el diagrama de bloques, el diagrama de flujo del proceso y el cursograma analítico.

El diagrama de bloques es el método más sencillo para representar un proceso. Consiste en que cada operación unitaria ejercida sobre la materia prima se encierra en un rectángulo y se unen por medio de flechas. Por el contrario, el cursograma analítico es una técnica más avanzada, pues presenta información más detallada, que incluye la actividad, el tiempo empleado, la distancia recorrida, el tipo de acción efectuada y un espacio para anotar observaciones. Esta técnica se puede emplear siempre que se tenga un conocimiento casi perfecto del proceso de producción y del espacio disponible.

Por lo anterior, se empleará el diagrama de flujo del proceso. Este posee algunos detalles e información donde se usa una simbología internacionalmente aceptada para representar las operaciones efectuadas. Dicha simbología se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12: Simbología para representar operaciones en un proceso productivo.

Símbolo	Nombre	Significado
	Operación	Se efectúa un cambio o transformación en algún componente del producto, ya sea por medios físicos, mecánicos o químicos, o la combinación de cualquiera de los tres.
	Transporte	Es la acción de movilizar de un sitio a otro algún elemento en determinada operación o hacia algún punto de almacenamiento o demora.
	Demora	Se presenta cuando existen cuellos de botella en el proceso y hay que esperar turno para efectuar la actividad correspondiente. A veces, el propio proceso exige una demora.
	Almacenamiento	Tanto de materia prima, de producto en proceso o de producto terminado.
	Inspección	Es la acción de controlar que se efectúe correctamente una operación, un transporte o verificar la calidad del producto.
	Operación combinada	Ocurre cuando se efectúan simultáneamente dos de las acciones mencionadas.

Fuente: Baca, 2003.

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo del proceso con la simbología anterior.

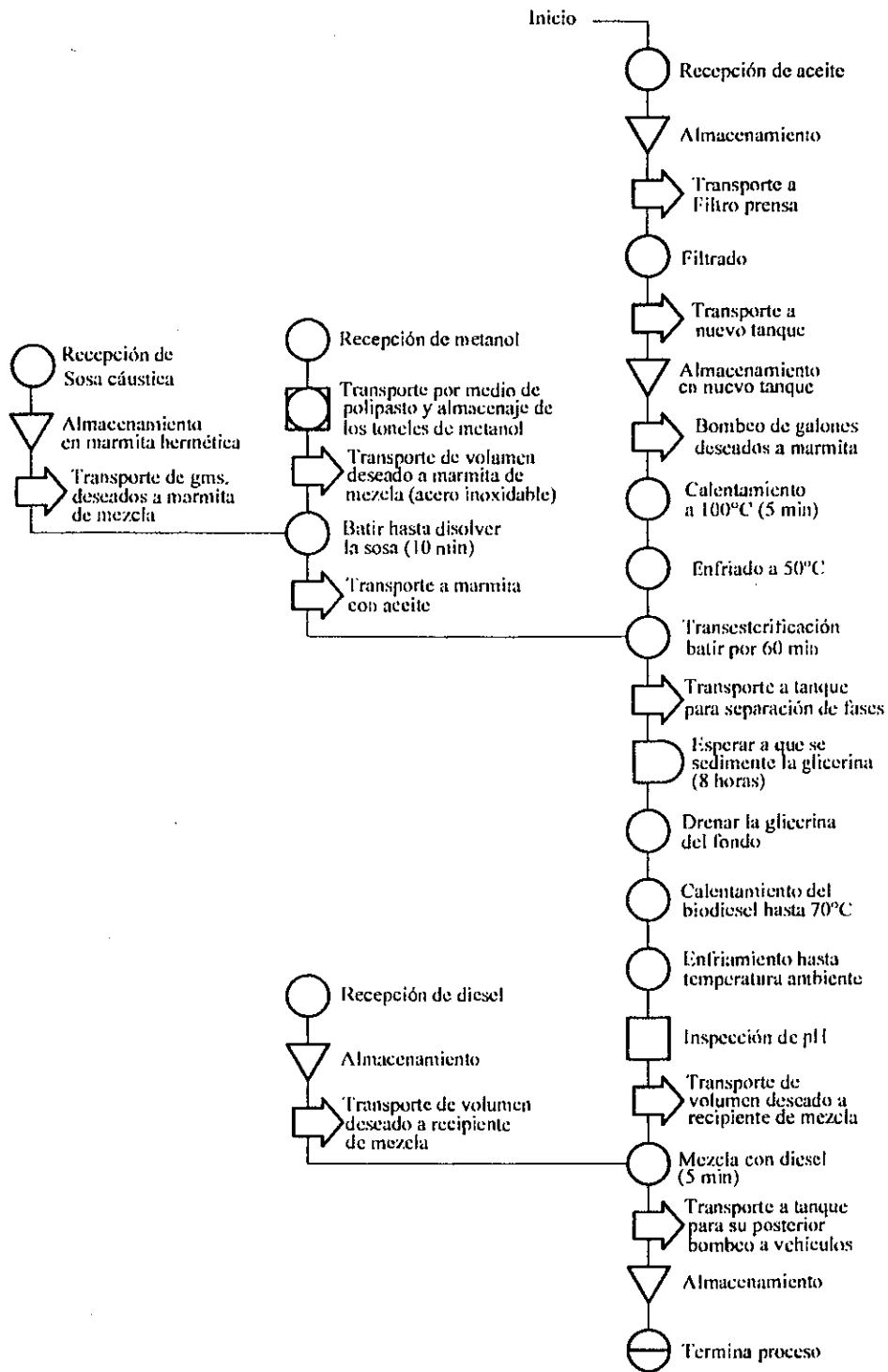


Figura 22: Diagrama de flujo del proceso de producción del biodiesel.

5. Tiempos de operación de la planta. En esta parte se establece una aproximación de los tiempos de operación en la planta. Se muestra un diagrama con las horas del día para poder visualizar el tiempo requerido en cada operación. Más adelante se mostrará que dos marmitas de 50 galones para realizar la reacción de transesterificación y una marmita para realizar la mezcla de metanol y sosa cáustica son suficientes para el proceso productivo. Esta parte también nos servirá para poder determinar cuál es el tiempo de operación de cada motor y bomba involucrado en el proceso y con ello, estimar el consumo eléctrico.

Supongamos que el filtro prensa adquirido tiene una capacidad de 18 lt/min (285.3 gal/hr). Por consiguiente, necesitaríamos 1.33 hr. (1 hr. 20 min) para filtrar los 380 galones de aceite. Para fines prácticos lo aproximaremos a 1 hr. 30 min. Ahora podemos bombear el aceite requerido a la marmita para calentarlo hasta los 100°C. Este tiempo de bombeo y calentamiento lo estimamos en unos 30 min. (15 min. para cada operación). Luego necesitamos enfriar el aceite hasta los 50°C. También requerimos de 30 min. En esta etapa podemos medir la cantidad de metanol y sosa cáustica necesaria y mezclarla en la marmita correspondiente. Esto nos llevaría unos 30 min. Ahora sí se puede realizar la reacción de transesterificación. Esto es durante una hora.

Podríamos comenzar a trabajar con la siguiente marmita casi simultáneamente. Estimemos una media hora después de haber comenzado a trabajar con la primer marmita. En otras palabras, una vez comenzado el enfriamiento del aceite de la primer marmita se comienza con el calentamiento del aceite de la segunda marmita.

Al terminar con esta reacción, la mezcla se transporta al tanque de reposo, donde se sedimenta la glicerina. Esto tardará menos de 15 min. En este tanque se deberán introducir todas las mezclas realizadas en cada marmita durante todo un día. Se estima que para poder procesar los 380 galones diarios de aceite, se necesitarán utilizar cinco veces cada marmita. Esto se estima en base a que se pueden introducir 41.5 galones de aceite, 8.3 galones de metanol y más la cantidad de sosa cáustica necesaria en cada marmita. El proceso en cada marmita durará dos horas y 15 minutos aproximadamente.

Debido a que la mezcla necesita ocho horas para que se pueda sedimentar la glicerina, este tanque permanecerá toda la noche en reposo. Al día siguiente, se deberá drenar toda la glicerina, calentar el biodiesel hasta 70°C y bombearlo al tanque de almacenamiento de biodiesel para enfriarlo a temperatura ambiente y su posterior mezcla con diesel. Lógicamente, esto deberá realizarse entre el tiempo que se requiere para filtrar el aceite del día y el transporte de la mezcla de la primer marmita al tanque de reposo. Estos tiempos pueden variar según sea la tecnología y bombas empleadas. Las estimaciones se muestran en la Figura 23.

Resta incluir el tiempo necesario para bombear el diesel al tanque de mezcla para que finalmente se obtenga el biocombustible y se almacene en el tanque donde se distribuirá a los vehículos. Estos tiempos también pueden variar según sea la tecnología utilizada. Se muestra entonces el diagrama:

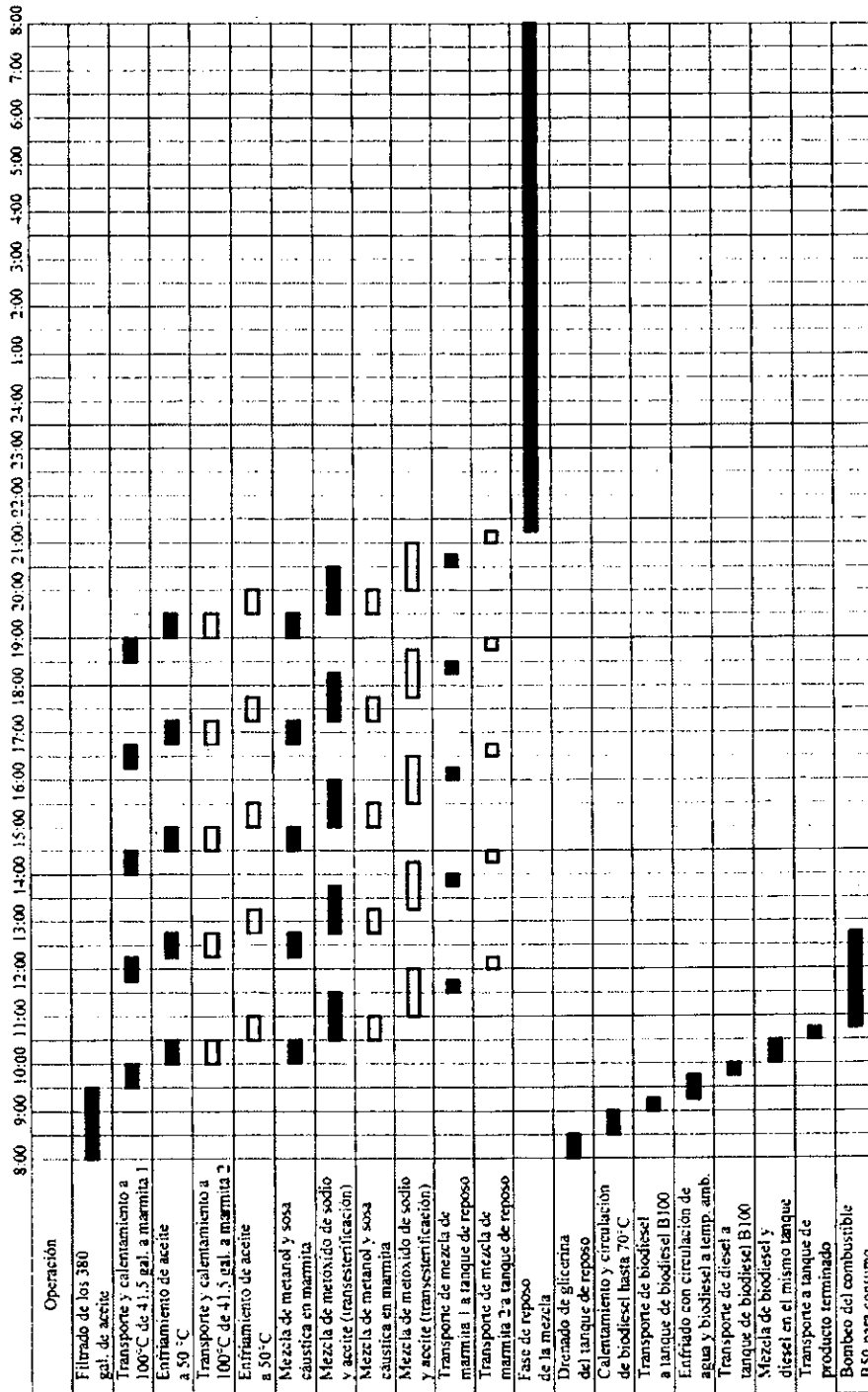


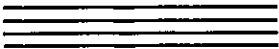
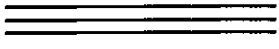
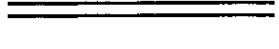
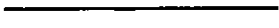

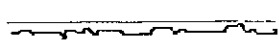
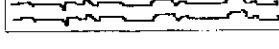
Figura 23: Tiempos estimados de operación de la planta.

6. **Distribución de la planta.** Una buena distribución de la planta es la que proporciona condiciones de trabajo aceptables y permite la operación más económica, a la vez que mantiene las condiciones óptimas de seguridad y bienestar para los trabajadores. Los principios básicos de este tema son: la integración total, mínima distancia de recorrido, utilización del espacio cúbico, seguridad y bienestar para el trabajador y flexibilidad.

Existen tres tipos básicos de distribución: distribución por proceso, distribución por producto y distribución por componente fijo. En la primera se agrupan a las personas y al equipo que realizan funciones similares y hacen trabajos rutinarios en bajos volúmenes de producción. En la segunda se agrupan a los trabajadores y al equipo de acuerdo con la secuencia de operaciones realizadas sobre el producto o usuario. Finalmente, en la tercera, la mano de obra, los materiales y el equipo acuden al sitio de trabajo, como en la construcción de un edificio.

Los métodos para realizar la distribución por proceso o funcional son el diagrama de recorrido y el Systematic Layout Planning (SLP, Formato de Planificación Sistemático). Para proyectar el espacio requerido, es necesario calcular las áreas para todas las actividades. De aquí, de acuerdo con la cantidad de máquinas y volumen que ocupa cada una, se realiza un primer intento de distribución. Con esto se efectúan los ajustes necesarios para llegar a determinar la distribución definitiva de las instalaciones. El método SLP utiliza una técnica poco cuantitativa al proponer distribuciones con base en la conveniencia de cercanía entre los departamentos. Emplea la simbología internacional dada en la Tabla 13.

Tabla 13: Simbología del método SLP.

Letra	Orden de proximidad	Valor en líneas
A	Absolutamente necesaria	
E	Especialmente importante	
I	Importante	
O	Ordinaria o normal	
U	Unimportant (sin importancia)	
X	Indeseable	
XX	Muy indeseable	

Fuente: Baca, 2003.

A continuación se construye el diagrama de correlación o la matriz diagonal que se utiliza en el método SLP para la planta de producción de biodiesel y el diagrama de hilos que surge de éste. Cabe mencionar que las áreas mostradas en el diagrama de correlación surgen de los análisis posteriores.

Departamento		Área m ²	
Recepción de materias primas	1	81	A
Almacén de materias primas	2	30	A A I
Filtro prensa	3	7.5	O A U I E
Fabricación	4	108	A U U I U O
Producto terminado	5	12	E I X X U
Oficinas	6	7.5	E U X X
Sanitarios	7	6	

Figura 24: Diagrama de correlación o matriz diagonal.

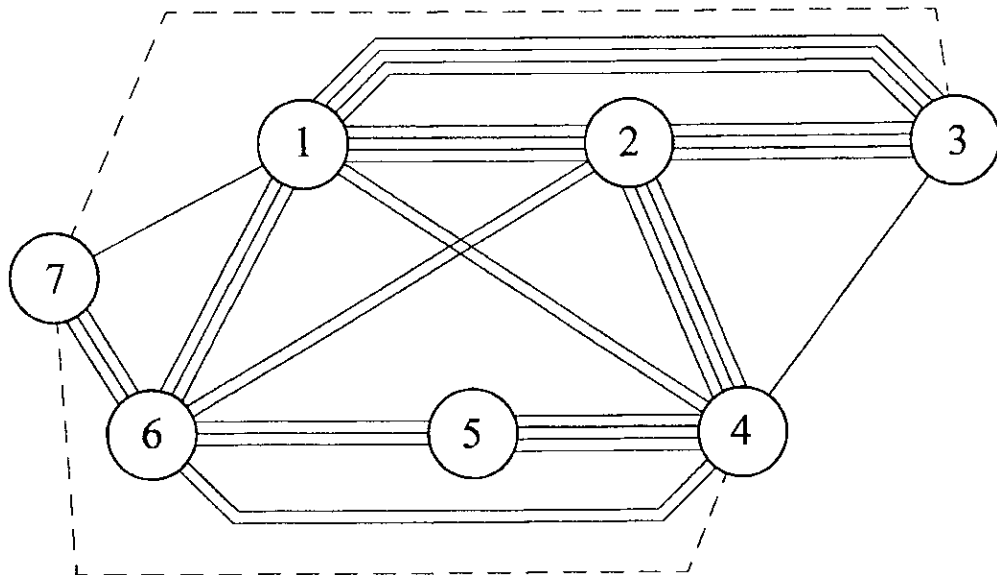


Figura 25: Diagrama de hilos. (El valor en líneas para la letra X se representa por una línea punteada).

7. Cálculo de las áreas de la planta.

a. Recepción de materias primas: El área asignada para este departamento depende del volumen de maniobra y frecuencia de recepción, del tipo de material (en este caso serán la mayor parte líquidos: aceite, metanol, diesel), y la forma de recepción o embarque. A menudo, se estará recibiendo el aceite usado y el metanol en toneles de 55 galones. Por su parte, la sosa cáustica se estará recibiendo en sacos de 25 kilos. Ahora, el diesel se estará recibiendo por medio de un carrotanque, el cual almacenará cierto volumen en un tanque de depósito. Este constituye tanto la recepción como el almacenaje.

Ya que se tiene un cálculo de 380 galones de aceite diarios, se estiman unos siete toneles diarios de aceite. Además, se perciben unos 76 galones diarios de metanol, que equivalen a un poco más de un tonel, por lo que se recibirán dos toneles diarios. Es importante notar, que si la planta de biodiesel estuviera cercana a la planta de alimentos (donde se tiene el aceite como subproducto), la recepción del aceite será diaria. Sin embargo, como el metanol proviene de otros distribuidores, no se podrá tener el lujo de recibir la cantidad necesaria de este producto diariamente. Por ello, se deberá determinar si se reciben semanalmente, quincenalmente, etc. Suponiendo que se recibirán quincenalmente, se necesitarán 760 galones de metanol (el 20% del aceite: 3,800 galones quincenalmente). Esto equivale a recibir unos 14 toneles de metanol quincenalmente.

Por su parte, la sosa cáustica se recibirá en sacos de 25 kilos. Si se tiene pensado procesar 380 galones de aceite diarios, se necesitarán unos ocho kilos diarios de sosa cáustica aproximadamente (un galón de aceite necesita 21.3 gm de sosa). De igual forma, si se pretende recibir sosa cáustica quincenalmente, bastará recibir cuatro sacos de 25 kilos.

Resumiendo, se pretenden recibir unos siete toneles diarios de aceite, 14 toneles de metanol quincenalmente y cuatro sacos de 25 kilos de sosa cáustica quincenalmente. Ahora bien, no es necesario que el área de recepción de todas las materias primas esté localizada en un mismo sector. Más adelante se mostrará que la recepción del aceite puede estar adyacente a la industria alimenticia con el fin de ahorrar energía en trasladar dicho producto. Una forma muy conveniente sería que se bombeara directamente el aceite al tanque de recepción. Por su parte, la recepción del metanol, de la sosa cáustica y del diesel, sí pueden estar localizadas en una misma área, quizás cercana a la calle (al otro lado de la planta) con el fin de permitir mayor fluidez en el despacho de camiones. Esto se ilustra más adelante.

Así, el área para la recepción del aceite se puede calcular de $3.5 \times 3.0 \text{ m}$ (10.5 m^2). El área para el flujo de los camiones que transporten el metanol y la sosa cáustica, se puede estimar de $6 \times 7 \text{ m}$ (42 m^2) y el área para recepción de dichos toneles y sacos de $3.5 \times 3.0 \text{ m}$ (10.5 m^2). Finalmente, el área para el tanque de recepción del diesel de $6 \times 3 \text{ m}$ (18 m^2).

b. Almacén de materias primas. Para calcular el área de almacén de materia prima se recomienda usar el concepto de lote económico de la teoría de inventarios. El lote económico es la cantidad que debe adquirirse cada vez que se surten los inventarios para manejarlos en forma económicamente óptima. Es un modelo determinístico para el manejo de inventarios que supone la reposición instantánea, el consumo de materia prima a una tasa constante y el mantenimiento de una reserva de seguridad previamente establecida. El resultado del cálculo del lote económico es una cantidad dada en unidades, toneladas, litros, o cualquier otra unidad de medida, lo cual permite calcular el área necesaria para almacenar esa cantidad comprada mediante la simple multiplicación de la cantidad adquirida por el área ocupada por cada unidad.

Como ya se analizó (en el área de recepción de materias primas) los volúmenes de materia prima necesarios, resta determinar el tamaño de los tanques de almacenamiento del aceite usado, del aceite usado filtrado, y del diesel.

Para el tanque de almacenamiento de aceite usado, podemos tener uno hecho de lámina negra con capacidad de almacenamiento de 400 galones. Considerando una densidad relativa del aceite de 0.85 y recordando que un galón tiene $3,785 \text{ cm}^3$, tenemos $3,217 \text{ cm}^3$ de aceite. Así, para 400 galones, tenemos $1,286,900 \text{ cm}^3$ de aceite, o bien, 1.29 m^3 de aceite, aproximadamente. Este volumen es importante para determinar qué tamaño y cuántas láminas negras se pueden adquirir para dimensionar al tanque. En el mercado existen láminas de 3 x 6 pies ($0.915 \times 1.83 \text{ m}$), de 4 x 8 pies ($1.22 \times 2.44 \text{ m}$) y de 4 x 10 pies ($1.22 \times 3 \text{ m}$).

Si elegimos la lámina de 4 x 8 pies ($1.22 \times 2.44 \text{ m}$), podemos obtener un largo del tanque de 1.22 m. Recordando que el volumen de un cilindro es igual al largo por el área transversal, despejamos el área:

$$A = V / L$$

$$A = 1.29 \text{ m}^3 / 1.22 \text{ m} = 1.057 \text{ m}^2$$

De esta manera, determinamos el diámetro del área y el perímetro del diámetro:

$$D^2 = 4 A / \pi$$

$$D = 1.16 \text{ m}$$

$$P = \pi D$$

$$P = 3.64 \text{ m}$$

Con estos datos podemos imaginarnos un tanque como se muestra en la siguiente figura:

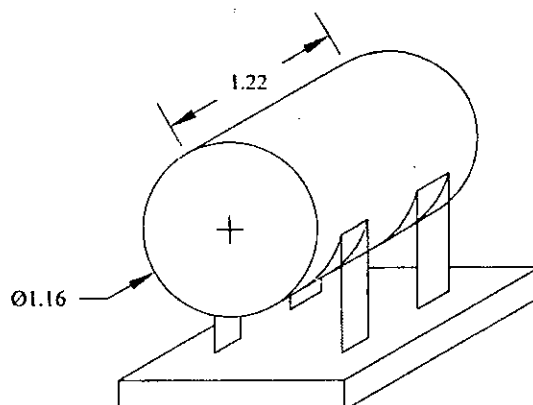


Figura 26: Tanque de almacenamiento de aceite.

Por lo anterior, necesitaríamos cuatro láminas negras de $4 \times 8 \times \frac{1}{4}$ pies para el tanque de almacenamiento del aceite. Dos láminas se utilizan para el cilindro y dos para las tapaderas. Además, podemos tener otro tanque similar para el almacenamiento del aceite usado filtrado. Entonces, necesitamos ocho láminas negras de $4 \times 8 \times \frac{1}{4}$ pies. Ahora hace falta calcular las secciones de acero para las patas de los cilindros que pueden ser dos secciones C de $\frac{1}{4} \times 2 \times 6$ pies y dos platinas de $\frac{1}{4} \times 6$ pies para cada uno.

Ya que los tanques de almacenamiento de aceite (sucio y filtrado) son de las mismas dimensiones, consideramos que un área de 6.0×2.0 m (12 m^2) resulta bastante lógica para el tanque de aceite vegetal filtrado.

Tener el metanol listo para el llenado de la marmita de mezcla con la sosa cáustica implica varias opciones. Una de las mejores maneras de realizar este procedimiento es utilizando los mismos toneles como almacenaje instalándole una tubería en la apertura de los mismos y luego volteándolos para aprovechar la fuerza de la gravedad. De lo contrario, tendríamos que calcular las dimensiones de un tanque de almacenamiento donde de alguna manera se llene de metanol. Si nos decidiéramos por esta última opción los cálculos del tanque darían como resultado uno con una capacidad de 2.28 m^3 aproximadamente. Estos cálculos se hacen de la misma forma como se calculó el tanque para el aceite, recordando que el metanol posee una densidad relativa de 0.7915 y que se pretenden recibir 760 galones quincenalmente.

Construir un tanque de acero inoxidable para esta capacidad resulta bastante caro, por lo que se recomienda optar por la primera opción, en la cual necesitaríamos un sistema de polipasto para poder transportar los toneles al lugar deseado y allí un sistema de volteo para colocarlos en la posición deseada.

Ahora bien, para la sosa cáustica es necesario un recipiente de acero inoxidable que sea hermético. Esta no ocupará tanto espacio como los toncles de metanol.

De esta forma, el área para almacenaje de los toneles de metanol y para la marmita de sosa cáustica se recomienda de 6.0 x 3.0 m (18 m²).

Como ya se ha mencionado, la recepción y el almacenaje del diesel se constituyen de un tanque de almacenamiento. Si consideramos que de un galón de aceite obtenemos 0.975 galones de biodiesel, entonces estamos produciendo cerca de 370 galones de biodiesel diariamente. Por ello necesitamos la misma cantidad de diesel para poder producir unos 740 galones diarios de combustible. También se puede pensar en producir solamente 370 galones diarios de combustible, lo que equivale a utilizar la mitad de diesel. Todo depende de la cantidad deseada de producción. Suponiendo que sí se desean los 740 galones diarios de combustible, entonces necesitamos un tanque de diesel con una capacidad mínima de almacenaje de dicho volumen. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el despacho mínimo de un carrotanque es de 3,000 galones. Por lo tanto debemos dimensionar un tanque de almacenamiento del diesel de 4,000 galones para asegurarnos que tendremos suficiente reserva entre cada despacho. De esta manera, habremos de realizar pedidos cada ocho días.

Con un promedio de una densidad relativa del diesel de 0.85, resulta un volumen de 12.87 m³. Si empleamos la lámina de 4 x 8 pies (1.22 x 2.44 m), tenemos el largo del tonel de 2.44 m, un área transversal de 5.27 m², un diámetro de 2.6 m y un perímetro de 8.14 m. De esta manera, se necesitarán unas siete láminas de 4 x 8 x ¼ pies para construir el cuerpo del tanque y unas cinco láminas para las tapaderas del tanque. Estos cálculos se hacen de la misma forma como determinamos las dimensiones del tanque para el aceite. Visualizamos al tanque del diesel como se muestra en la siguiente figura.

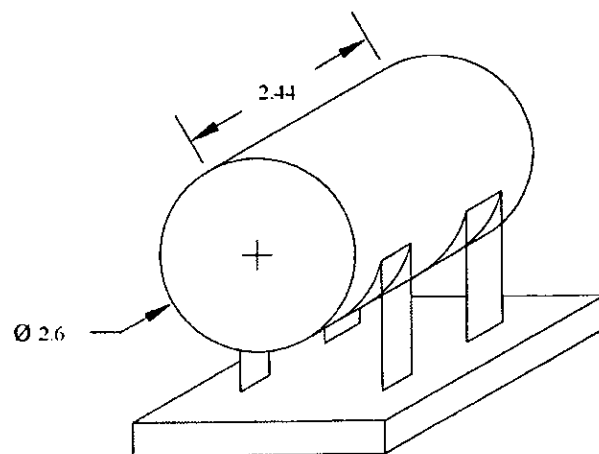


Figura 27: Tanque para almacenamiento de diesel.

Vemos que el área de 6.0 x 3.0 m (18 m²), considerada anteriormente para el tanque del diesel, resulta bastante aceptable.

c. **Filtro Prensa.** Un filtro prensa contiene un conjunto de placas diseñadas para proporcionar una serie de cámaras o compartimentos en los que se pueden recoger los sólidos. Las placas se recubren con un medio filtrante tal como una lona. La suspensión se introduce en cada compartimiento bajo presión; el líquido pasa a través de la lona y sale por una tubería de descarga, dejando detrás una torta de sólidos húmeda. Las placas de un filtro prensa pueden ser cuadradas o circulares, verticales u horizontales. Lo más frecuente es que los compartimentos para sólidos estén formados por huecos en las caras de placas de polipropileno moldeado. En otros diseños, el filtro está formado por prensas de placas y marcos como los de la Figura 28, en donde placas cuadradas de 6 a 78 pulgadas (150 mm a 2 m) de lado alternan con marcos abiertos. Las placas tienen un espesor de ¼ a 2 pulgadas (6 a 50 mm), el espesor de los marcos es de ¼ a 8 pulgadas (6 a 200 mm).

Las placas y los marcos se sitúan de forma vertical en un bastidor metálico, con telas que cubren las caras de cada placa, y se acoplan estrechamente entre sí por medio de un tornillo o una prensa hidráulica. La suspensión entra por un extremo del conjunto de placas y marcos, y pasa a través de una esquina, hacia el canal que recorre el equipo de modo longitudinal. Los canales auxiliares llevan la suspensión desde el canal de entrada hasta cada uno de los marcos. Aquí los sólidos se depositan en las caras cubiertas de tela de las placas. El líquido pasa a través de las telas, desciende por las canaladuras de las caras de las placas y sale del filtro prensa.

Una vez instalado el filtro prensa, se introduce la suspensión por medio de una bomba o tanque presurizado generalmente a una presión de 3 a 10 atm. La filtración continúa hasta que ya no sale líquido por el tubo de descarga o bien aumenta bruscamente la presión de filtración. Esto ocurre cuando las placas se llenan de sólido y ya no puede entrar más suspensión. Esto indica que la presión ha sido bloqueada. Entonces es posible pasar líquido de lavado para eliminar las impurezas solubles contenidas en los sólidos, y a continuación soplar con aire o vapor de agua para desplazar la mayor parte de líquido residual. Entonces se abre la prensa y se retira la torta de sólidos del medio filtrante, pasándola a un transportador o un depósito de almacenamiento.

Ahora que conocemos las partes y el funcionamiento básico de un filtro prensa, resta determinar el tamaño recomendable para el área donde se instalará el filtro prensa. Realmente, el filtro prensa que se pretende utilizar no será de gran tamaño. Uno con una capacidad de caudal de 18 lt/min (285 gal/hr) y con un motor de 0.25 kW tendrá unas dimensiones de 0.6 m de altura, 1.0 m de ancho y 0.5 m de profundidad. Por ello, un área de unos 2.5 x 3.0 m (7.5 m²) será más que suficiente para su instalación y posterior mantenimiento.

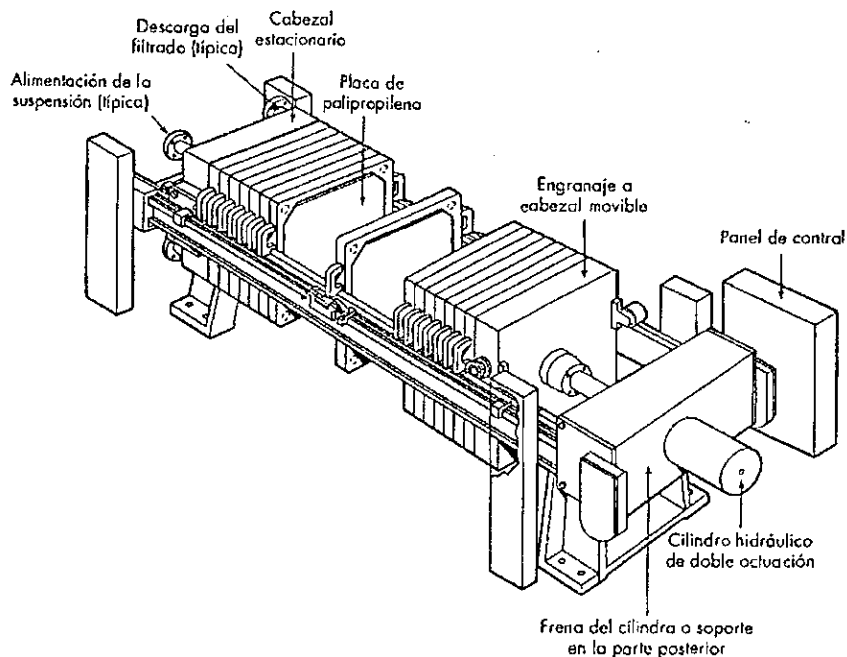


Figura 28: Filtro prensa equipado para operación automática.
(Shriver Filtres, Eimco Process Equipment Co.)

d. Fabricación. La fabricación comprende las líneas de calentamiento del aceite en las marmitas, la mezcla del metanol con la sosa cáustica y la mezcla con el aceite, así como el trasvase de la mezcla al tanque de reposo para que se sedimente la glicerina y así poder drenarla, el calentamiento del biodiesel a 70°C, el enfriamiento a temperatura ambiente y la mezcla del biodiesel con el diesel.

Se puede pensar en tener los toneles de metanol a cierto nivel del suelo para que por medio de la gravedad se llene la marmita donde se formará el metóxido de sodio. He aquí la importancia del polipasto. Además, esta marmita estará a un nivel intermedio, es decir, entre el nivel de los toneles de metanol y el nivel del suelo de la planta. De esta forma, también se aprovecharía la fuerza de la gravedad para transportar el metóxido de sodio a la marmita con el aceite filtrado.

Para esta área, se considera que se tendrán unas dos marmitas con capacidades de mezclar 50 galones. El tipo de marmita que se pretende tiene las características de ser de acero inoxidable 304 calibre 14, con un motor de un horse power (HP, caballo de fuerza) trifásico, con agitación automática a 40 revoluciones por minuto (rpm), con doble camisa o fondo (para aceite o vapor), con sistema de calentamiento a gas con calderín de sopletes, con aceite térmico dentro de la camisa, con un sistema de aspas en acero inoxidable y

raspadores en teflón. Las dimensiones de una marmita de este tipo son de unos 90 x 110 cm (0.9 x 1.1 m) con una altura de 130 cm (1.3 m).

Además de las marmitas para mezclar el aceite y el metóxido de sodio, se debe tener otra marmita de acero inoxidable con un motor eléctrico de 0.5 HP y un sistema de aspas para poder mezclar el metanol y la sosa cáustica. Ya que en las marmitas de 50 galones se pueden introducir 41.5 galones de aceite y 8.3 galones de metanol, más la cantidad de sosa cáustica (unos 0.9 kg), se puede concluir que una marmita de unos 10 galones sería suficiente para este propósito. Recordemos que la cantidad de metanol es el 20% de la cantidad de aceite.

Adicionalmente, se necesita considerar el espacio para los tanques de almacenamiento de la mezcla donde se va a separar la glicerina y donde se va a tener el biodiesel para su posterior mezcla con diesel. El diseño del tanque donde ha de separarse la glicerina del biodiesel puede tener muchos caminos. Se puede pensar en un tanque horizontal que tenga una pequeña inclinación. Es importante también considerar que dicho tanque cuente con una sección transparente donde se pueda ver el nivel de glicerina, es decir, un mecanismo que permita determinar hasta qué punto exacto se deba drenar la glicerina para no perder biodiesel en esta etapa de producción.

Si consideramos esta opción de construir el tanque horizontal necesitamos saber sus dimensiones. Además, en este tanque se calentará el biodiesel hasta una temperatura de 70°C. Este calentamiento se realizará por medio de una resistencia de unos 10 kW dentro del tanque. Por ello, también será necesario tener una bomba que circule el biodiesel dentro del tanque. De esta manera, consideraremos un tanque con una capacidad de 500 galones. De la misma forma como hemos dimensionado los otros tanques, suponemos una densidad relativa de 0.85 para el biodiesel y que emplearemos láminas de 4 x 8 pies (1.22 x 2.44 m). Así, obtenemos un volumen de 1.61 m³ (para los 500 galones), una longitud de 1.22 m, un área transversal de 1.32 m², un diámetro de 1.3 m y un perímetro de 4.1 m, aproximadamente. Por consiguiente, necesitaríamos emplear cuatro láminas para su construcción (dos para el cilindro del tanque y dos para las tapaderas del tanque).

Finalmente, tenemos que considerar la existencia de un tanque donde se transportará el biodiesel y el diesel para su mezcla. Primeramente, será bombeado el biodiesel que está a una temperatura cercana a los 70°C (del proceso anterior), por lo que será necesario enfriarlo. Para ello, podemos circular agua en tubos dentro del tanque, lo que implica tener una pequeña torre de enfriamiento con una bomba para mover el agua y una bomba para mover el biodiesel dentro del tanque. Al terminar con el enfriamiento del biodiesel se podrá transportar la cantidad necesaria de diesel y así mezclar ambos combustibles. Finalmente, se podrá bombear este combustible al tanque de producto terminado.

El tanque para este propósito deberá contemplar un volumen superior a los 740 galones de combustible. Para fines prácticos lo dimensionaremos para un volumen de 1,000 galones. Al seguir con un procedimiento similar de cálculo, obtenemos un tanque con un volumen de 3.22 m³, un largo de 2.44 m (si consideramos láminas de 1.22 x 2.44 m), un área transversal de 1.32 m², un diámetro de 1.3 m y un perímetro de 4.1 m. Por lo tanto, necesitamos cuatro láminas de 1.22 x 2.44 m para el cilindro o cuerpo del tanque, y dos láminas más para las tapaderas del tanque.

De lo anterior, se puede estimar un área de fabricación compuesta de: 6.0 x 3.4 m (20.4 m²) para el nivel intermedio de la marmita de 10 galones; 6.0 x 6.6 m (39.6 m²) para el área de las marmitas donde ocurre la transesterificación; y 6.0 x 8.0 m (48 m²) para el área de los tanques de separación de glicerina y almacenamiento del biodiesel.

e. Cese de producto terminado. Debido a que el producto terminado debe ser almacenado en un depósito con un sistema de bombeo para suministrar el combustible a los vehículos, éste también se podría dimensionar siguiendo el procedimiento anterior. El tanque podría tener las mismas dimensiones que el tanque de diesel. Como ya se ha mencionado todo depende de la cantidad deseada a producir. Si fuera igual o un poco más grande que el tanque del diesel, un área de 4.0 x 3.0 m (12 m²) sería bastante buena.

La Tabla 14 muestra el resumen de las capacidades y de las dimensiones de los tanques necesarios en el proceso productivo del biodiesel.

Tabla 14: Resumen de las capacidades y dimensiones de los tanques.

Tanque	Capacidad (galones)	Largo (metros)	Diámetro (metros)
Aceite usado	400	1.22	1.16
Aceite usado filtrado	400	1.22	1.16
Diesel	4,000	2.44	2.6
Reposo de mezcla	500	1.22	1.3
Biodiesel + diesel	1,000	2.44	1.3
Combustible B50	4,000	2.44	2.6

f. Oficinas. El área destinada a oficina dependerá de la magnitud de la mano de obra indirecta y de los cuadros directivos y de control de la planta. El personal de la planta deberá comprender de unas tres o cuatro personas que controlen los ingresos de materias primas, el filtro prensa, el llenado y calentamiento de las marmitas, y los egresos de combustible, entre otras operaciones. Por ello, es recomendable

considerar un área destinada para archivar recibos, facturas, fichas de control de calidad, etc. Un área de unos 2.5 x 3 m (7.5 m²) puede ser suficiente.

g. Sanitarios. El tamaño del área donde se encuentren está sujeta a los señalamientos de la Ley del Trabajo de Guatemala, ordenamiento que exige que exista un servicio sanitario completo por cada siete trabajadores del mismo sexo. En este caso, no se tiene tal magnitud de trabajadores. Sin embargo, es aconsejable tomar en cuenta esta área en la planta ya que por cuestiones de seguridad se debe tener un servicio sanitario completo que además contemple una regadera por cualquier accidente. Las dimensiones para esta área pueden ser de unos 2 x 3 m (6 m²).

A continuación se presenta la Tabla 15 que resume las dimensiones de las áreas de cada departamento de la planta, así como el área de la nave de la planta y del terreno. Si la nave es de dos aguas una altura de unos 8 m sería recomendable para los lados y unos 9 o 10 m de altura en el centro de la nave. Esto es necesario por la forma de transporte del metanol y del metóxido de sodio antes mencionado.

Tabla 15: Resumen de las áreas de la planta.

Área	m	m ²
(1) Recepción de materias primas	(3.5 x 3) + (6 x 7) + (3.5 x 3) + (6 x 3)	81
(2) Almacén de materias primas	(6 x 2) + (6 x 3)	30
(3) Filtro prensa	2.5 x 3	7.5
(4) Fabricación	(6 x 3.4) + (6 x 6.6) + (6 x 8)	108
(5) Producto terminado	4 x 3	12
(6) Oficinas	2.5 x 3	7.5
(7) Sanitarios	2 x 3	6
Nave de la planta	12 x 16	192
Terreno	16.5 x 23	379.5

Tomando en cuenta todo lo anterior, se podría pensar en una distribución como la presentada en la Figura 29.

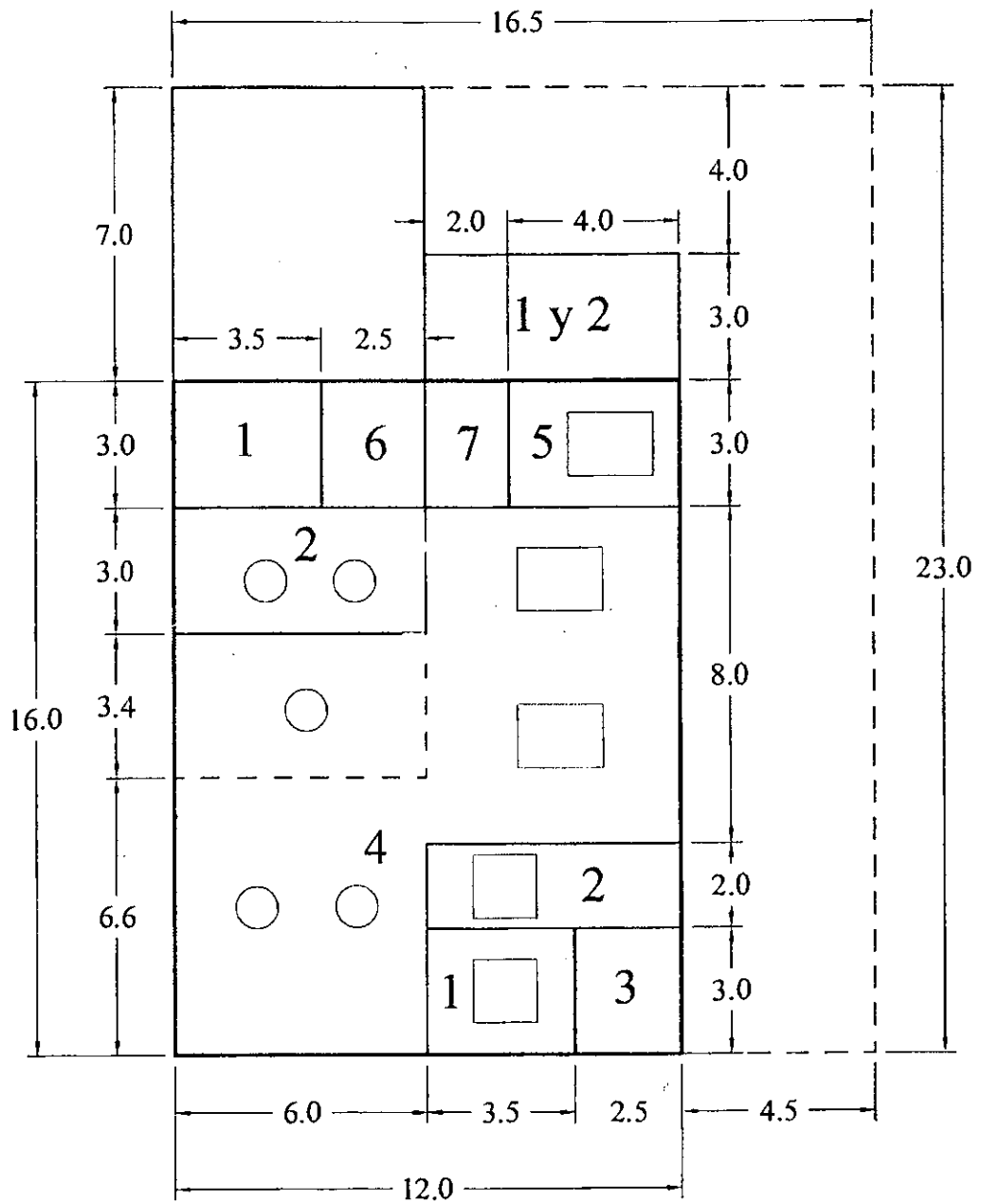


Figura 29: Distribución de la planta.

C. Estudio económico

La parte del análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto, cuál será el costo total de la operación de la planta, así como otra serie de indicadores que servirán como base para la parte final y definitiva del proyecto, que es la evaluación económica.

1. **Determinación de los costos de producción.** El costo es un desembolso en efectivo o en especie hecho en el pasado, en el presente, en el futuro o en forma virtual. La evaluación de proyectos es una técnica de planeación, y la forma de tratar el aspecto contable no es tan rigurosa, lo cual se demuestra cuando por simplicidad, las cifras se redondean al millar más cercano. En verdad, no hay forma de predecir con tanta exactitud el futuro.

Los costos de producción no son más que un reflejo de las determinaciones realizadas en el estudio técnico. Los costos de producción se anotan y determinan con las siguientes bases:

a. **Costo de materia prima.** No se debe tomar en cuenta sólo la cantidad de producto final que se desea, sino también la merma propia de cada proceso productivo. La materia prima necesaria para este combustible, lo constituye el aceite vegetal, el metanol, la sosa cáustica y el diesel. Debido a que el aceite vegetal es un subproducto del proceso productivo de la industria alimenticia, se considerará sin ningún costo, puesto que es un producto de desecho al que se piensa darle un valor de rescate.

Para el metanol y la sosa cáustica se cotizaron varios distribuidores presentándose algunas variaciones en precios. Es importante considerar la forma de negocio y distribución de cada distribuidor para poder asegurar el flujo constante de materia prima. Los resultados de precios de los distribuidores nacionales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 16: Cotizaciones de distribuidores nacionales de metanol y sosa cáustica.

Distribuidor	Metanol (Q. por galón)	Sosa cáustica (Q. por kilo)
A	31.71	4.50
B	22.50	4.00
C	21.50	6.00

Considerando la cantidad necesaria de metanol (0.205 gal.) y de sosa cáustica (21.8 gm) para poder elaborar un galón de biodiesel, los costos de dichas cantidades son:

Tabla 17: Costos de la cantidad necesaria de metanol y sosa cáustica para un galón de biodiesel.

Distribuidor	Metanol (Q. para 0.205 gal.)	Sosa cáustica (Q. para 21.8 gm)
A	4.86	0.10
B	4.61	0.09
C	4.41	0.13

Los datos promedios de la Sección de Hidrocarburos del Ministerio de Energía y Minas revelan un precio de Q. 16.94 por galón de diesel (hasta el 15 de noviembre de 2004). Cabe aclarar que este promedio se tomó con referencia a los promedios de los distribuidores de diesel, tanto en servicio completo como en autoservicio. Estos promedios se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18: Promedios de precios de distribuidores de diesel.

Distribuidor	Servicio completo (Q.)	Autoservicio (Q.)
Shell	17.13	16.98
Esso	17.37	16.98
Texaco	17.41	16.96
Copensa	16.62	---
Scout 77	16.82	16.89
Alka-Wenker	16.39	---
Otras	16.97	16.72
Promedio	16.96	16.91

Fuente: Guatemala, 2004.

Así, con un promedio de precios de los distribuidores de metanol y sosa cáustica, podemos obtener los costos siguientes de la materia prima necesaria para un galón de combustible B50:

Tabla 19: Costos de materia prima para un galón de combustible B50.

Materia prima	Costo (Q.)
Metanol (0.205 gal.)	4.63
Sosa cáustica (21.8 gm.)	0.11
Diesel (0.5 gal.)	8.47

b. Costos de energía eléctrica. El principal gasto por este insumo en una empresa de manufactura se debe a los motores eléctricos que se utilizan en el proceso. Para su cálculo, se toma en cuenta la capacidad de cada uno de los motores que intervienen en las operaciones y el tiempo que permanecen en operación por día. Además, se considera importante los costos eléctricos que surgen de la iluminación.

Respecto al gasto del consumo eléctrico de la planta, se muestra la Tabla 20 que resume las potencias, horas de trabajo y cantidades de bombas, motores y resistencias eléctricas involucradas. Los tiempos de operación de cada motor y bomba se estiman de acuerdo al análisis de los tiempos de operación de la planta.

Tabla 20: Potencia, horas de trabajo, cantidades y consumo de equipo eléctrico.

Equipo eléctrico	Potencia (HP)	Potencia (kW)	Horas de trabajo	No. veces al día	kWh
Bomba del filtro prensa	1/3	0.25	1.5	1	0.375
Bomba transporte de aceite filtrado a marmitas de 50 gal.	1/3	0.25	0.25	10	0.625
Motor de marmita de 10 galones (mezcla metanol y sosa)	1/2	0.373	0.5	10	1.865
Motor de marmita (1) de 50 galones	1	0.746	1	5	3.730
Motor de marmita (2) de 50 galones	1	0.746	1	5	3.730
Bomba transporte de mezcla de marmitas a tanque de reposo	1/3	0.25	0.25	10	0.625
Resistencia de calentamiento de biodiesel a 70°C		10	0.5	1	5.000
Bomba para circulación de biodiesel en calentamiento	1/3	0.25	0.5	1	0.125
Bomba transporte de biodiesel a tanque de mezcla con diesel	1/3	0.25	0.25	1	0.062
Bomba de torre enfriamiento por agua	1/3	0.25	0.5	1	0.125

Equipo eléctrico	Potencia (HP)	Potencia (kW)	Horas de trabajo	No. veces al día	kWh
Bomba* circulación de biodiesel para su enfriamiento	1/3	0.25	0.5	1	0.125
Bomba transporte de diesel a tanque de mezcla	1/3	0.25	0.25	1	0.062
Bomba* mezcla biodiesel y diesel	1/3	0.25	0.5	1	0.125
Bomba* transporte de combustible B50 a tanque final	1/3	0.25	0.25	1	0.062
Bomba despacho de combustible B50	1/2	0.373	2	1	0.746
Total					17.384

Bomba* se refiere a la misma bomba. Esta bomba se puede utilizar para los distintos propósitos en los distintos tiempos de operación.

Respecto a los gastos por iluminación en la planta, debemos determinar la cantidad necesaria de luminarias para la planta. Para este tipo de actividad productiva se recomienda un flujo luminoso de 300 lúmenes por m² de superficie. Aplicamos la fórmula necesaria para determinar la cantidad de luminarias:

$$Ne = (Ee * s) / (l * \phi * Cu * FPT)$$

donde,

Ne = número de luminarias

Ee = flujo luminoso (lúmenes/m²)

s = superficie (m²)

l = número de luminarias por lámpara

ϕ = flujo luminoso de tubo fluorescente

Cu = coeficiente de utilización

FPT = factor de pérdidas totales

$$Ne = (300 * 192) / (2 * 3,000 * 0.75 * 0.7)$$

$$Ne = 18.28 \approx 18$$

Esto quiere decir que se emplearán 18 luminarias con dos tubos cada una. Si fueran de 40 W, entonces se tendrían 1,440 W (1.44 kW), que implican 21.6 kWh si se consideran 15 horas al día de iluminación.

Ahora bien, si consideramos un costo de Q. 0.15 por kWh tendríamos los gastos por electricidad mostrados en la siguiente tabla. Este costo se toma en base a una tarifa en la región central para una baja tensión (de 0 a 11 kWh).

Tabla 21: Costos por energía eléctrica diarios.

Item	Consumo (kWh)	Precio de kWh (Q./kWh)	Precio total (Q.)
Equipos eléctricos	17.384	0.15	2.61
Iluminación	21.600	0.15	3.24
Total			5.85

Realmente, los costos de producción por energía eléctrica representan una mínima parte. Si se produjeran 740 galones diarios de combustible B50, los costos por energía eléctrica de un galón de este combustible serían de Q. 0.008, digamos de un centavo.

c. Costos de agua. Es un suministro importante en algunos tipos de procesos productivos. Para este proceso se necesita considerar un suministro de agua para el lavado de las marmitas, el enfriamiento del biodiesel por medio de la pequeña torre de enfriamiento y otros usos como los del sanitario. Consideremos un costo de agua de Q. 100.00 al mes que implican Q. 0.01 por galón de combustible B50.

d. Control de calidad. Si se decide realizar el control de calidad en las propias instalaciones, debe tomarse en cuenta que se requiere de una inversión en equipo, de un área disponible, de personal capacitado que realice cotidianamente los análisis o las pruebas correspondientes y que muchas de ellas requieren de sustancias químicas. En caso contrario, es decir cuando los promotores del proyecto deciden no tener un departamento de control de calidad dentro de la propia planta, entonces deberán contratar un servicio externo que realice tales pruebas y lleve a cabo esta función cotidianamente. Consideremos unos Q. 4,000.00 al mes en gastos de productos para la determinación del pH y de la titulación para determinar la cantidad de sosa cáustica necesaria. Recordemos que la cantidad de catalizador puede variar según el tipo de aceite. Los Q. 4,000.00 representan unos Q. 0.25 por galón de combustible B50 (740 galones diarios; 22 días al mes).

e. Mantenimiento. El cálculo de este rubro es similar al de control de calidad. Los promotores del proyecto deberán decidir si esta actividad se realiza dentro de la planta o si se contrata un servicio

externo. Para esta planta será necesario darle mantenimiento de limpieza a los tanques y recipientes, así como a los motores y bombas de las marmitas y depósitos. También se consideran lubricantes, detergentes, luces, etc. Consideremos unos Q. 4,000.00 al mes que representan unos Q. 0.25 por galón de combustible B50.

f. Otros costos. Se han mencionado los principales conceptos relacionados con los costos de producción, pero éstos no son todos los costos que se originan en esa área. También existen gastos los uniformes de trabajo, dispositivos de protección para los trabajadores, etc. Su importe es tan pequeño en relación con los demás costos, que tal vez no vale la pena determinarlos detalladamente. No obstante, cabe mencionar que un equipo de protección personal para un trabajador en contacto con sustancias químicas potencialmente peligrosas como el metanol y la sosa cáustica, está entre los Q. 260.00. Este equipo incluye una careta, una mascarilla, cartuchos para vapores, gabacha y guantes de PVC. Es importante notar que la careta, la mascarilla, la gabacha y los guantes no son costos diarios, más bien, costos que podrían realizarse cada año. Sin embargo, los cartuchos para vapores sí pueden constituir un gasto semanal. El costo de estos cartuchos es de alrededor de Q. 45.00.

Por otro lado, se deben considerar gastos de oficina que incluyen papel, tinta, folios, etc. Realmente, estos gastos tan mínimos que los aproximaremos a unos Q. 0.02 por galón de combustible B50.

2. Costos de administración. Son, como su nombre lo indica, los costos que provienen para realizar la función de administración en la planta. Se distinguen los costos de la mano de obra directa e indirecta. Como ya se ha mencionado anteriormente, para este proyecto se considera necesario un ingeniero, un bodeguero, un mecánico operario y un auxiliar a lo sumo. El ingeniero de la planta representa los costos de la mano de obra indirecta, mientras que el bodeguero, el mecánico operario y el auxiliar, representan los costos de la mano de obra directa.

De esta manera, se puede considerar un costo de alrededor de Q. 12,600.00. Esto es considerando que el ingeniero de la planta gane cinco salarios mínimos; el mecánico operario gane dos y medio salarios mínimos; el bodeguero gane dos salarios mínimos; y el auxiliar gane un salario mínimo. El salario mínimo es de Q. 1,200.00. Este rubro de administración representa un costo de Q. 0.77 por galón de combustible B50.

3. Inversión inicial. La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y diferidos o intangibles necesarios para iniciar las operaciones de la planta, con excepción del capital de trabajo. Se entiende por activo tangible o fijo, los bienes propiedad de la planta, como terrenos, construcción, maquinaria, equipo, mobiliario, herramientas y otros. Se llama fijo porque la empresa no puede desprenderse fácilmente de él sin que ello ocasione problemas a sus actividades productivas.

Por otro lado, se entiende activo intangible el conjunto de bienes propiedad de la planta necesarios para su funcionamiento, y que incluyen: patentes de invención, marcas, diseños comerciales o industriales, nombres comerciales, asistencia técnica o transferencia de tecnología, gastos de instalación y puesta en marcha, contratos de servicios (como luz, agua, teléfono, corriente trifásica, etc.), estudios que tienden a mejorar en el presente o en el futuro el funcionamiento de la empresa, como estudios administrativos o de ingeniería, etc.

En el caso del costo del terreno, éste debe incluir el precio de compra del lote, las comisiones a agentes, honorarios y gastos notariales, y aun el costo de demolición de estructuras existentes que no se necesiten para los fines que se pretenda dar al terreno. Sin embargo, se considerará que la industria alimenticia cuenta con suficiente espacio en sus instalaciones para poder ceder el espacio de terreno necesario para la planta de biodiesel.

En el caso del costo de equipo y de maquinaria, debe verificarse si éste incluye fletes, instalación y puesta en marcha.

Realmente, resulta bastante difícil calcular la inversión inicial adecuada para la puesta en marcha de una planta. Se realizan cotizaciones de precios de maquinaria y equipo que tienden a variar según el fabricante, distribuidor, forma de pago, tecnología, etc. Por tal motivo, se presenta la Tabla 23 con los precios estimados de la maquinaria y equipo necesario para la planta en cuestión. La mayoría de precios se estiman en dólares americanos y se convierten a quetzales multiplicando por 7.80 de acuerdo a la tasa de cambio promedio.

Para los tanques necesarios en la producción, consideramos un precio de Q. 1,000.00 por lámina negra de 4 x 8 x $\frac{1}{4}$ pies y un precio de Q. 15.00 por pulgada de soldadura. Se presenta la siguiente tabla con la cantidad estimada de láminas necesarias para su construcción, así como con la distancia de soldadura necesaria del tanque. Esta distancia se debe visualizar como las uniones que requieren las láminas para formar el cilindro y las uniones de las tapaderas del cilindro (dos veces el perímetro).

Tabla 22: Costos de los tanques necesarios en la producción.

Tanque	Láminas (4 x 8 x ¼ pies)	Costo de lámina (Q.)	Distancia soldadura (m)	Costo de soldadura (Q. por m)	Otras piezas (Q.)	Total (Q.)
Aceite usado	4	1,000.00	9.72	590.55	750.00	10,490.00
Aceite filtrado	4	1,000.00	9.72	590.55	750.00	10,490.00
Diesel 2D	12	1,000.00	48.00	590.55	750.00	41,100.00
Reposo de mezcla	4	1,000.00	13.24	590.55	750.00	12,570.00
Biodiesel + diesel	6	1,000.00	20.56	590.55	750.00	18,890.00
Combustible B50	12	1,000.00	48.00	590.55	750.00	41,100.00
Total						134,640.00

Nota: Otras Piezas incluyen las secciones de patas, refuerzos, etc. de los tanques.

Ahora se presenta la Tabla 23 con los principales gastos en maquinaria y equipo necesarios.

Tabla 23: Costos de maquinaria y equipo principal de la planta.

Maquinaria y equipo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio unitario (Q.)	Total (Q.)
Filtro Prensa	1	10,000.00	78,000.00	78,000.00
Marmita de 10 galones	1	5,100.00	39,780.00	39,780.00
Marmita de 50 galones	2	6,590.00	51,402.00	102,804.00
Tanque hermético para la sosa	1	1,000.00	7,800.00	7,800.00
Balanza analítica para la sosa	1	1,475.00	11,505.00	11,505.00
Bombas de 1 HP	2	900.00	7,020.00	14,040.00
Bombas de 1/2 HP	1	700.00	6,240.00	6,240.00
Bombas de 1/3 HP	8	500.00	3,900.00	31,200.00
Calentador (resistencia)	1	3,300.00	25,740.00	25,740.00
Torre de enfriamiento	1	1,200.00	9,360.00	9,360.00

Maquinaria y equipo	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio unitario (Q.)	Total (Q.)
Tuberías, válvulas, etc.	---	5,000.00	39,000.00	39,000.00
Tanques de varias medidas	---	17,260.00	134,640.00	134,640.00
Luminarias (18)	---	900.00	7,020.00	7,020.00
Construcción de galera	1	12,310.00	96,000.00	96,000.00
Paredes de lámina	---	11,490.00	89,600.00	89,600.00
Construcción de nivel dos	1	4,430.00	34,560.00	34,560.00
Construcción de nivel tres	1	4,615.00	36,000.00	36,000.00
Rampas, calles y jardinería	---	7,210.00	56,250.00	56,250.00
Total				819,539.00

Nota: El cambio se hace a Q. 7.80 por \$. 1.00.

La estimación de la construcción de la galera o nave de la planta de 192 m² se hace considerando un precio de Q. 500.00 por m²; las paredes de la galera de 448 m², se calcula con un precio de Q. 200.00 por m²; la construcción del nivel dos de 38.4 m², se hace considerando un precio de Q. 900.00 por m²; la construcción del nivel tres de 36 m², se hace considerando un precio de Q. 1,000.00 por m²; y la construcción de rampas, calles y jardinería de 187.5 m², se hace con un precio de Q. 300.00 por m².

Ahora hace falta calcular la anualidad de esta inversión para poder estimar los costos de un galón de combustible B50. Supondremos que se va a pagar esta inversión en 10 años. Aplicamos la fórmula siguiente para determinar el capital:

$$C = c(1+r)^n$$

donde,

c = monto o inversión inicial

r = incremento anual (ganancia de dinero al año), 4.5%

n = tiempo (años)

$$C = 819,539.00 (1 + 0.045)^{10}$$

$$C = Q. 1,272,719.00$$

Así, la anualidad (a) la calculamos mediante el empleo de la siguiente fórmula:

$$a = \frac{Cr(1+r)^n}{(1+r)^n - 1}$$

$$a = \frac{(1,272,719.00 * 0.045 * (1 + 0.045)^{10})}{(1 + 0.045)^{10} - 1}$$

$$a = Q. 160,845.00$$

Esto representa lo que se debe pagar en un año de producción. Si consideramos que diariamente se producen 740 galones de combustible B50, y que se trabajan 22 días al mes, se tiene un costo de Q. 0.82 por galón producido, aproximadamente. Si se decidiera pagar la inversión inicial en cinco años entonces se tendría un capital de aproximadamente Q. 1,021,295.00 y una anualidad de Q. 232,642.00. Esto representa un costo de Q. 1.19 por galón de combustible B50.

4. Costo de un galón de combustible B50. Hemos visto la serie de costos que implica poner a funcionar la planta de biodiesel. En verdad, se hace un estudio de los principales costos involucrados de la forma más lógica posible. Sin embargo, se trata puramente de una estimación, es decir, muchas cosas pueden variar. Se presenta en forma de resumen, la Tabla 24 de todos los costos involucrados en la producción de un galón de combustible.

Tabla 24: Costos de un galón de combustible B50.

Costo	Quetzales
Costos de producción	
Costos de materia prima	
Metanol	4.63
Sosa cáustica	0.11
Diesel	8.47
Costos de energía eléctrica	0.01
Costos de agua	0.01
Control de calidad	0.25
Mantenimiento	0.25
Otros costos	0.02
Costos de administración	
Mano de obra directa e indirecta	0.77
Inversión inicial	
Anualidad	0.82 (1.19)*
Total	15.34 (15.71)*

* Nota: Las cifras en paréntesis representan el costo calculado a cinco años.

X. CONCLUSIONES

A. La promoción de la alternativa de fabricar biodiesel con los aceites de freír usados comporta, pues, una buena cantidad de ventajas. En este sentido, cabe destacar que esta práctica permite avanzar a la futura normativa sobre los aceites de freír usados que obligará encontrar alternativas de gestión para este residuo en un futuro a corto plazo. Nuestro país tiene capacidad suficiente para tratar los aceites de freír que se generan y así mantener una nueva actividad económica.

B. El uso continuo de las llamadas energías sucias ha contribuido al cambio climático que provoca inundaciones, fuertes temporales, graves períodos de sequía, etc. con el consiguiente perjuicio económico. Esto por sí sólo sería suficiente argumento para buscar una alternativa menos destructiva, pero además el simple recuerdo de algunas de las mareas negras que han provocado y su posterior poder devastador, nos obliga a que se busque de una forma urgente una solución al problema, y que se invierta en investigación y desarrollo de energías limpias renovables.

C. Aunque los biocombustibles todavía no ocupan un lugar destacado dentro del sector energético de nuestro país, su implantación depende en gran medida de la actitud del consumidor.

D. El tratamiento de los aceites de freír para producir biodiesel requiere una fuerte inversión en infraestructuras tanto para la recolección como para el tratamiento de estos aceites. Por tanto, este esfuerzo ha de venir acompañado de una actitud de colaboración activa por parte de la población en las tareas de separación en el origen de los aceites usados.

E. Los ciudadanos hemos de exigir un medio ambiente urbano más sano. Potenciar el transporte público propulsado por energías renovables es un paso fundamental para conseguir la sostenibilidad urbana. Aunque no son la respuesta definitiva al debate sobre movilidad urbana, los biocombustibles son una alternativa a tener en cuenta a la hora de proyectar una ciudad hacia un futuro más sostenible.

F. De acuerdo a los resultados de análisis de las muestras de biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol nuevo y usado, resulta difícil poder emplearlo como sustituto infalible del diesel 2D en los motores diesel. Esto es debido principalmente a los valores altos de viscosidad cinemática de 11.1 y 7.6, respectivamente. El diesel 2D posee valores de viscosidad cinemática de entre 1.9 y 4.1. Además se obtuvo un valor bajo en la gravedad API, un índice de cetano fuera del mínimo recomendado que implicó que la curva de destilación no se completara. Respecto al calor de combustión se obtuvo un valor bastante

próximo al calor de combustión del diesel 2D. Sin embargo, el biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol usado presentó mejores resultados que el elaborado a partir de aceite de girasol nuevo.

G. Los resultados de análisis de las muestras B20 y B50 sí presentaron resultados positivos en todas las pruebas realizadas por el laboratorio del Ministerio de Energía y Minas. Los porcentajes de azufre, los valores de la corrosión en la tira de cobre, los porcentajes de cenizas, los índices de cetano y las curvas de destilación presentaron resultados muy confiables, ya que cumplen con las especificaciones del diesel 2D. Los valores para la viscosidad cinemática también están dentro de lo requerido, aunque para la mezcla de 50% biodiesel y 50% diesel se tiene un valor límite. Lo mismo ocurre con la gravedad API.

H. Los calores de combustión de las muestras B20 y B50 presentaron valores convenientes, puesto que se obtuvo para la muestra con 20% biodiesel y 80% diesel, 43,710 kJ/kg, y para la muestra con 50% biodiesel y 50% diesel, 41,994 kJ/kg. Recordemos que el diesel 2D tiene un calor de combustión de 44,790 kJ/kg. Los resultados para el punto de inflamabilidad de ambas muestras presentaron valores muy próximos a los del diesel 2D (cerca de 52°C), que están bastante lejos de parecerse a los del biodiesel B100 de la ASTM (cerca de 130°C).

I. La elaboración de las cuatro muestras de combustible presentadas durante este trabajo de investigación representan parte del extenso campo de investigación que puede llevarse a cabo sobre este tema. Por ello, es recomendable continuar con el esfuerzo aquí mostrado sobre encontrar nuevos procedimientos y caminos más favorables que satisfagan nuestras necesidades de fuentes de energía.

J. Si bien la reducción de costos en el consumo del biocombustible B50 no representa un valor significativo comparado con el costo del diesel 2D, sí representa un alivio para el medio ambiente. Además, es de esperar que mientras la producción aumente se tenga una reducción clara en los costos.

K. Aunque no se puede hablar de una metodología rígida que guíe la toma de decisiones sobre el proyecto, sí es posible afirmar categóricamente que una decisión siempre debe estar basada en el análisis de un sinnúmero de antecedentes con la aplicación de una metodología lógica que abarque la consideración de todos los factores involucrados en el proyecto. La decisión sobre el proyecto no debe ser tomada por una sola persona, sino ser sometida a un análisis multidisciplinario de diferentes especialistas.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Alliance of Automobile Manufacturers (Alianza de Constructores de Automóviles). Facts about carbon dioxide [en línea]. Washington, D.C.: diciembre 2003. Publicaciones en formato pdf. <<http://www.autoalliance.org/archives/NEWCO2.pdf>> [10 septiembre 2004].
- Altomonte, Hugo; Coviello, Manlio; Lutz, Wolfgang. Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe. Restricciones y perspectivas [en línea]. Santiago de Chile: octubre 2003. Publicaciones en formato pdf. <<http://www.energiarenovable.org>> [29 agosto 2004].
- Baca Urbina, Gabriel. 2003. *Evaluación de proyectos*. 4ta. Ed. México, D.F., McGraw-Hill. 383 págs.
- Boix, Pere, *et al.* 1998. «Escuela, salud y trabajo por una cultura de la prevención». Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). Valencia, España, Navarro Impresores. 154 págs.
- Cordero, Jorge. 2003. *Evaluación de las propiedades fisicoquímicas del biodiesel obtenido a partir de aceite de palma y etanol, como combustible alterno del diesel 2D*. Tesis Universidad de San Carlos. Guatemala, C.A.
- Engine Manufacturers Association (EMA) (Asociación de Constructores de Motores). Informe técnico de la utilización de biodiesel en motores de compresión [en línea]. Chicago, Illinois: febrero 2003. <<http://www.enginemanufacturers.org/admin/library/upload/297.pdf>> [30 agosto 2004].
- Estados Unidos. 2001. National Biodiesel Board (Dirección Nacional del Biodiesel). Especificaciones del biodiesel B100 [en línea]. Estados Unidos: diciembre 2001. <<http://www.biodiesel.org>> [30 agosto 2004].
- Estados Unidos. 2002. *World wide fuel charter*. Brochure of gasoline and diesel fuel specifications. Estados Unidos. 51 págs.

- European Automobile Manufacturers Association (ACEA, Asociación Europea de Constructores de Automóviles). Global performance specification for diesel engine oil [en línea]. 19 abril 2001. Publicaciones en formato pdf. <<http://www.acea.be/ASB/Download.nsf/Catgory0Files/19042001c~DHD-1.pdf>> [10 septiembre 2004].
- Gros, Stefan. 2002. «Bio-oils for diesel engines». Revista Wartsila energy news. [Estados Unidos]. 15 (15): 8-10.
- Guatemala. 2003. Diario de Centro América. *Decreto número 52-2003*. 2003. CCLXXII (91): 20-23.
- Guatemala. 2004. Ministerio de Energía y Minas. <<http://www.mem.gob.gt>> [15 noviembre 2004].
- Japan Automobile Manufacturers Association (JAMA) (Asociación de Constructores de Automóviles de Japón). La necesidad de mayor medioambiente, tecnologías de automóviles amigables [en línea]. Tokio: 1996. <http://www.jama.org/library/bro_EnviroFriendly/intro.htm> [28 agosto 2004].
- Journey to Forever (Organización Viaje al Infinito). Elaboración de biodiesel [en línea]. Estados Unidos: 1997. <<http://www.journeytoforever.org/energiaweb/elaboracion.htm>> [20 agosto 2004].
- Lang, Kart. 2001. «Biodiesel: on the road to fueling the future». National Biodiesel Board. [Estados Unidos].
- Leone, Andrés; Almada, Miguel. Biodiesel en Argentina [en línea]. Buenos Aires: marzo 2001. Publicaciones en formato pdf. <<http://www.biodiesel.com.ar>> [29 agosto 2004].
- Martínez Rodríguez, Mercedes. Utilización de aceites vegetales usados para la obtención de biodiesel [en línea]. Madrid: 2001. Publicaciones en formato pdf. <<http://www.energias-renovables.com>> [29 agosto 2004].
- McCabe, Warren L. 2001. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. 6ta. Ed. México, D.F., McGraw-Hill. 1,199 págs.

- Prakash, Chandra B. 1998. «A critical review of biodiesel as a transportation fuel in canada». Revista Global Change Strategies International Inc., GCSI. [Estados Unidos]. 2 (52): 5-7.
- Pullkrabek, W. 1997. *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. 2da. Ed. Estados Unidos, Prentice Hall. 411 págs.
- Romero, Jordi; Miralles, Jordi. Perspectiva Ambiental No. 24 [en línea]. Barcelona: abril 2002. Revista digital. <<http://www.ecoterra.org>> [9 septiembre 2004].
- Skoog, Douglas A.; West, Donald M. y Holler, F. James. 1995. *Química analítica*. 6ta. Ed. México, D.F., McGraw-Hill. 612 págs.
- Winnie, Terry. Retos de los combustibles verdes [en línea]. Norte de Ireland: enero 2001. <<http://www.biofuels.fsnet.co.uk/challenge.htm>> [29 agosto 2004].

XII. APÉNDICE

A. Decreto número 52-2003

EL CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con lo preceptuado en el artículo 129 de la Constitución Política de la República, se declara de urgencia nacional la electrificación del país, con base en planes formulados por el Estado y las municipalidades, en la cual podrá participar la iniciativa privada.

CONSIDERANDO:

Que de conformidad con lo preceptuado en el artículo 119 de la Constitución Política de la República, es obligación fundamental del Estado orientar la economía nacional para lograr la utilización de los recursos naturales, adoptando las medidas que sean necesarias para su aprovechamiento en forma eficiente, en virtud de que el desarrollo de los recursos energéticos renovables es de interés público, así como otorgar incentivos, de conformidad con la ley, a las empresas industriales que se establezcan en el interior de la República y contribuyan a la descentralización.

CONSIDERANDO:

Que Guatemala cuenta con recursos naturales renovables suficientes en cantidad y calidad, y que su aprovechamiento otorgará al país una mayor independencia en la compra de los combustibles fósiles, facilitando con ello el suministro de energía económica a favor del consumidor final, de la población guatemalteca y de la región centroamericana en general, minimizando así una fuga irreversible de divisas por concepto de compra de estos combustibles no disponibles localmente.

CONSIDERANDO:

Que se hace necesario emitir una norma legal que promueva en forma activa el desarrollo y aprovechamiento efectivo de los recursos energéticos renovables en Guatemala, que permita, a mediano y largo plazo, alcanzar un desarrollo continuo de estos recursos, lograr un equilibrio entre las fuentes de energía nacionales e importadas, lo que repercutirá en una mejora de la calidad ambiental del país y la participación de inversionistas interesados en el sector de energía renovable.

POR TANTO:

En ejercicio de las atribuciones que le confiere el artículo 171 literal a) de la Constitución Política de la República de Guatemala.

DECRETA:

La siguiente:

**LEY DE INCENTIVOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE
ENERGÍA RENOVABLE**

ARTICULO 1. Urgencia e interés nacional. Se declara de urgencia e interés nacional el desarrollo racional de los recursos energéticos renovables. El órgano competente estimulará, promoverá, facilitará y creará las condiciones adecuadas para el fomento de inversiones que se hagan con ese fin.

ARTICULO 2. Objeto. La presente Ley tiene por objeto promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para el efecto.

ARTICULO 3. Desarrollo. Para lograr el objetivo establecido en la presente Ley, el Ministerio de Energía y Minas deberá:

- a) Promover la localización e inventario de los recursos energéticos renovables, que sirvan para la generación de energía.
- b) Impulsar los estudios para estimar el potencial técnico utilizable.
- c) Fomentar y facilitar las inversiones para el desarrollo de generación de electricidad a través del uso racional de recursos energéticos renovables.
- d) Propiciar la oferta energética nacional a través de recursos renovables contribuyendo con esto a una mayor independencia nacional con relación a los combustibles importados.
- e) Contribuir y facilitar los procesos de certificación establecidos en el país, en materia energética, mediante el uso de recursos renovables.

ARTICULO 4. Definiciones. Para los efectos de esta Ley se establecen las siguientes definiciones:

- Fecha Inicio de Entrega -FIE-: Fecha en que el proyecto inicia la operación comercial.
- Órgano competente: El Ministerio de Energía y Minas, a través de sus dependencias y entidades, será el único órgano competente para conocer y resolver en todos los asuntos técnicos relacionados con la aplicación de esta ley y sus reglamentos.
- Período de preinversión: Período en el cual se realizan las actividades correspondientes a los estudios de factibilidad y diseño del proyecto (no incluye las fases de idea ni prefactibilidad).
- Período de ejecución: Período en el cual se realizan las actividades correspondientes a la construcción del proyecto. Comienza al finalizar el período de preinversión y termina al comenzar el período de operación.
- Período de operación: Período en el cual se realizan las actividades correspondientes a la operación comercial del proyecto. Este período tiene vigencia desde la FIE hasta finalizar la vida útil del proyecto.
- Recursos energéticos renovables: Se definen como aquellos recursos que tienen como característica común que no se terminan o que se renuevan por naturaleza. Incluyen: La energía solar, la energía eólica, la hidroenergía, la energía geotérmica, la biomasa, la energía de las mareas y otras que sean calificados por el Ministerio de Energía y Minas.

ARTICULO 5. Incentivos. Las Municipalidades, el Instituto Nacional de Electrificación -INDE-, Empresas Mixtas, y las personas individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables gozarán de los siguientes incentivos:

- a) Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado -IVA-, cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable.

Previamente a la importación de la maquinaria y equipo que sean necesarios para desarrollar los proyectos de energía renovable, en cada caso las personas individuales y jurídicas que los realicen deberán solicitar la aplicación de la exención a la Superintendencia de Administración Tributaria -SAT-, quien se encargará de calificar y autorizar la importación.

Este incentivo tendrá vigencia exclusiva durante el período de preinversión y el período de construcción, el cual no excederá de diez (10) años.

b) Exención del pago del Impuesto Sobre la Renta.

Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez (10) años.

Esta exención únicamente se otorga a las personas individuales y jurídicas que desarrollen directamente los proyectos y solamente por la parte que corresponda a dicho proyecto, ya que la exención no aplica a las demás actividades que realicen.

c) Exención del Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias -IEMA-.

Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez (10) años.

Para aprovechar los incentivos indicados en los literales de la a) a la c) anteriores, el interesado deberá presentar al órgano competente la siguiente información:

- La solicitud deberá ser dirigida al Ministerio de Energía y Minas. Durante los períodos de preinversión y de construcción podrán presentarse ampliaciones a la misma, siguiendo el mismo procedimiento.
- La documentación general del proyecto donde se indique claramente el cronograma de realización del período de preinversión, del período de construcción y del período de operación.
- Declaración que ha cumplido con lo consignado en la Ley General de Electricidad, en lo que sea aplicable.
- Listado total o parcial de los materiales, equipos y otros asociados a estos períodos, y el tipo del o los incentivos solicitados, especificando el período a que corresponden.

El órgano competente estudiará la solicitud; si es necesario, solicitará ampliación de la información y extenderá una certificación que acredite que se desarrolla un proyecto de fuentes renovables de energía y la lista de los insumos, totales o parciales, que efectivamente serán sujetos de exoneración, en los casos que proceda. El interesado presentará dicha certificación a la Superintendencia de Administración Tributaria -SAT- para que la citada dependencia emita la resolución de exención en un plazo no mayor de treinta (30) días, contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud. La SAT otorgará las exenciones con base en la resolución del órgano competente. Si la solicitud no fuera resuelta y notificada dentro del plazo fijado, la misma se tendrá por resuelta favorablemente.

ARTICULO 6. Certificado de reducción de emisiones. Los certificados de reducción de emisiones pertenecerán a los propietarios de los proyectos, quienes de esa forma se beneficiarán de la comercialización de los mismos. Estos certificados serán emitidos por el órgano competente, de conformidad a la cuantificación de las emisiones reducidas o desplazadas por el proyecto.


ARTICULO 7. Reglamento. Dentro de un plazo de seis (6) meses, contados a partir de la vigencia de esta Ley, el órgano competente emitirá el reglamento que permita la calificación y aplicación concreta de los incentivos correspondientes.

ARTICULO 8. Derogatoria. Se deroga el Decreto Ley 20-86, Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, así como cualquier disposición que se oponga a la presente Ley.

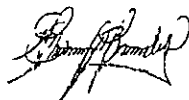
ARTICULO 9. Vigencia. El presente Decreto entrará en vigencia el día siguiente de su publicación en el diario oficial.

REMITASE AL ORGANISMO EJECUTIVO PARA SU SANCION,
PROMULGACION Y PUBLICACION.

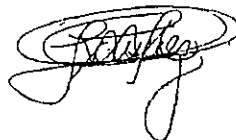
EMITIDO EN EL PALACIO DEL ORGANISMO LEGISLATIVO, EN LA CIUDAD
DE GUATEMALA, EL DIA VEINTIOCHO DEL MES DE OCTUBRE DEL AÑO DOS MIL
TRES.



CARLOS HUMBERTO HERNANDEZ RUBIO
Presidente en Funciones



GLORIA MARINA BARILLAS CARIAS
Secretaria

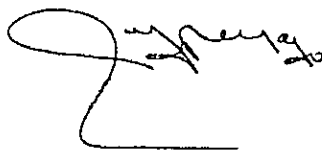
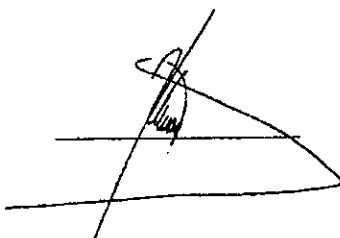


LUIS FERNANDO PEREZ MARTINEZ
Secretario

SANCIÓN AL DECRETO DEL CONGRESO, NÚMERO 52-2003

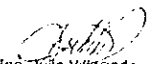

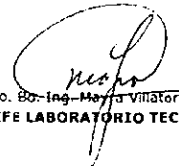

PALACIO NACIONAL: Guatemala, cuatro de noviembre del año dos mil tres.

PUBLÍQUESE Y CÚMPLASE

JUAN FRANCISCO REYES LÓPEZ
Presidente de la República en FuncionesRAÚL ARCHILA
Ministro de Energía y MinasDR. JOSÉ ADOLFO REYES CALDERÓN
Ministro de GobernaciónLIC. J. LUIS MIJANGOS C.
Secretario General Presidencia de la República

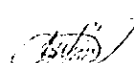

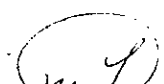

B. Resultados de análisis

Copia de los resultados de los análisis del biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol nuevo:

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GUATEMALA, C. A.	LABORATORIO TECNICO RESULTADOS DE ANALISIS	PAGINA 1 DE (1) LAB-REP-1110-01 ORDEN No. L-506-04 N.º M. _____ GUATEMALA, 11-10-04																	
MUESTRA: Biodiesel PRESENTADA POR: Paul Chinchila RESPONSABLE DEL MUESTREO: Desconocido PROCEDENCIA: Universidad del Valle. Muestra de aceite de girasol nuevo FECHA DE MUESTREO: Desconocido FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 05-10-04 FECHA DE ANALISIS: del 05 al 08-10-04 ANALISTA: Hugo Argueta																			
DESCRIPCION	METODO DE ANALISIS	ESPECIFICACION	RESULTADOS (a)																
AZUFRE, % peso	ASTM D-129	0.02																
CORROSION EN LA TIRA DE CCBRE, 3 horas a 122 °F	ASTM D-130	1																
CALOR DE COMBUSTION, Kcal/Kg	ASTM D-240	9221																
GRAVEDAD API, 60 °F, °API	ASTM D-287	24.4																
VISCOSIDAD CINEMATICA, 100 °F, cSt	ASTM D-445	11.1																
CEENZA, % peso	ASTM D-482	0.006																
DESTILACION, 750 (mm Hg) en base a recuperado, °F	ASTM D-86		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">VOLUMEN %</th> <th style="width: 50%;">RECUPERACION %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>P. INICIAL</td> <td style="text-align: right;">129</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td style="text-align: right;">589</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td style="text-align: right;">621</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td style="text-align: right;">625</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td style="text-align: right;">629</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td style="text-align: right;">636</td> </tr> <tr> <td>36 (b)</td> <td style="text-align: right;">650</td> </tr> </tbody> </table>	VOLUMEN %	RECUPERACION %	P. INICIAL	129	5	589	10	621	15	625	20	629	30	636	36 (b)	650
VOLUMEN %	RECUPERACION %																		
P. INICIAL	129																		
5	589																		
10	621																		
15	625																		
20	629																		
30	636																		
36 (b)	650																		
OBSERVACIONES: <p>a) Los resultados son válidos solo para el volumen de muestra presentada en este laboratorio b) La muestra destiló hasta el 36 % de recuperado y a continuación se inició su descomposición Debido a que la muestra presentó un pH de 10 y por seguridad no se efectuó el análisis de punto de inflamabilidad</p>																			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  Ing. Julio Valderrama SECCION DE HIDROCARBUROS </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro JEFE LABORATORIO TECNICO </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>																			

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Copia de los resultados de los análisis del biodiesel elaborado a partir de aceite de girasol usado:

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GUATEMALA, C. A.	LABORATORIO TECNICO RESULTADOS DE ANALISIS	PAGINA 1 DE (1) LAB REP-1111-04 NUM. <u>ORDEN No. L-506-04</u> GUATEMALA, 11-10-04																											
MUESTRA: Biodiesel PRESENTADA POR: Paul Chinchilla RESPONSABLE DEL MUESTREO: Desconocido PROCEDENCIA: Universidad del Valle Muestra de aceite girasol usado FECHA DE MUESTREO: Desconocida FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 05-10-04 FECHA DE ANALISIS: del 05 al 08-10-04 PRECIO DE ANALISIS: \$ 82.00 ANALISTA: Hugo Argueta																													
DESCRIPCION	METODO DE ANALISIS	ESPECIFICACION	RESULTADOS (a)																										
AZUFRE, % peso	ASTM D-129	0.02																										
CORROSION EN LA TIRA DE COBRE, 3 horas a 122 °F	ASTM D-130	1																										
CALOR DE COMBUSTION, kcal/kg	ASTM D-240	9419																										
GRAVEDAD APL 60 °F, API	ASTM D-287	26.6																										
VISCOSIDAD CINEMATICA, 100 °F, cSt	ASTM D-445	7.6																										
CELOS, % peso	ASTM D-482	0.001																										
INDICE DE CETANO CALCULADO	ASTM D-976	43.0																										
DESTILACION, 750 ml/h y en base a recuperado °F	ASTM D-86		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">VOLUVEN %</th> <th style="text-align: center;">RECUPERADO °F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center;">INICIAL</td><td style="text-align: center;">589</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">5</td><td style="text-align: center;">623</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">10</td><td style="text-align: center;">627</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">15</td><td style="text-align: center;">630</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">20</td><td style="text-align: center;">632</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">30</td><td style="text-align: center;">634</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">40</td><td style="text-align: center;">638</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">50</td><td style="text-align: center;">634</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">60</td><td style="text-align: center;">643</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">70</td><td style="text-align: center;">656</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">80</td><td style="text-align: center;">679</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">85 (b)</td><td style="text-align: center;">679</td></tr> </tbody> </table>	VOLUVEN %	RECUPERADO °F	INICIAL	589	5	623	10	627	15	630	20	632	30	634	40	638	50	634	60	643	70	656	80	679	85 (b)	679
VOLUVEN %	RECUPERADO °F																												
INICIAL	589																												
5	623																												
10	627																												
15	630																												
20	632																												
30	634																												
40	638																												
50	634																												
60	643																												
70	656																												
80	679																												
85 (b)	679																												
OBSERVACIONES: a) Los resultados son validos solo para el volumen de muestra presentada en este laboratorio b) La muestra destruyó hasta el 85 % de recuperado y a continuación se inició su descomposición Debido a que la muestra presentó un pH de 8 y por seguridad no se efectuó el análisis de punto de inflamabilidad																													
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  Ing. Julio Villacinda SECCION DE HIDROCARBUROS </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  Vo. Bo. Ing. Mayra Villatoro JEFE LABORATORIO TECNICO </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>																													

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Copia de los resultados de análisis de muestra B20 (80% diesel y 20% biodiesel):

DESCRIPCIÓN	METODO DE ANALISIS	ESPECIFICACION	RESULTADOS (a)	
PUNTO DE INFLAMABILIDAD °F	ASTM D-93	.....	128	
AZUFRE % peso	ASTM D-129	.....	0.32	
CORROSION EN LA TIRA DE COBRE 3 horas a 177 °F	ASTM D-130	.....	1	
CALOR DE COMBUSTION kcal/kg	ASTM D-240	.....	10442	
GRAVEDAD API 60 °F °API	ASTM D-287	.....	32	
VISCOSIDAD CINEMATICA 100 °F cSt	ASTM D-445	.....	3.4	
CENIZA % peso	ASTM D-482	.....	0	
INDICE DE CETANO, calculado	ASTM D-978	.....	47	
DESTILACION 760 mm Hg en base a recuperado °F	ASTM D-88		VOLUMEN %	RECUPERADO °F
			P. INICIAL	376
			5	420
			18	448
			20	482
			30	512
			48	534
			50	550
			60	578
			78	590
80	614			
90	636			
P. FINAL	670			

OBSERVACIONES: a) Los resultados son válidos solo para el volumen de muestra que se analizó en este laboratorio

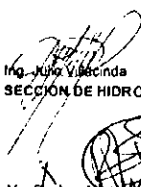

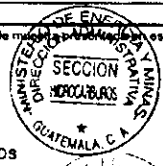

Ing. Julio Vasconcelos
SECCION DE HIDROCARBUROS

Vo. Bo. Ing. Julio Vasconcelos
JEFE LABORATORIO TECNICO

SECCION DE HIDROCARBUROS
MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS
GUATEMALA, C. A.

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico

Copia de los resultados de análisis de muestra B50 (50% diesel y 50% biodiesel):

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS GUATEMALA, C. A.	LABORATORIO TECNICO RESULTADOS DE ANALISIS	PAGINA 1 DE (1) LAB-REP-1221-04 ORDEN No. L-561-04 M.U.M. _____ GUATEMALA, 17-11-04		
MUESTRA: Diesel 20 50 % + Biodiesel 50 % PRESENTADA POR: Paul Chinchilla RESPONSABLE DEL MUESTREO: Desconocido PROCEDENCIA: Universidad del Valle FECHA DE MUESTREO: Desconocida FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 05-11-04 FECHA DE ANALISIS: del 12 al 17-11-04 ANALISTA: Hugo Argueta				
DESCRIPCION	METODO DE ANALISIS	ESPECIFICACION	RESULTADOS (a)	
PLUNTO DE INFLAMABILIDAD, °F	ASTM D-93	.....	125
AZUFRE, % peso	ASTM D-129	.....	0.21
CORROSION EN LA TIRA DE COBRE 3 horas a 122 °F	ASTM D-130	.....	1
CALOR DE COMBUSTION, Kcal/Kg	ASTM D-240	.....	10032
GRAVEDAD API, 60 °F, °API	ASTM D-267	.....	30.1
VISCOSIDAD CINEVATICA, 100 °F, cSt	ASTM D-445	.....	4.2
CENIZA, % peso	ASTM D-482	.....	8
INDICE DE CETANO, calculado	ASTM D-976	.....	47.0
CESTILLACION, 760 mm Hg en base a recuperado, °F	ASTM D-86		VOLUMEN	
			%	
			RECUPERADO	
			°F	
			P. INICIAL	405
			5	438
			10	468
			20	530
			30	561
			40	564
			50	604
60	619			
70	630			
80	639			
90	665			
P. FINAL	879			
OBSERVACIONES: a) Los resultados son válidos solo para el volumen de muestra que se analizó en este laboratorio. <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  Ing. Hugo Argueta SECCION DE HIDROCARBURDS  Vo. Bo. Ing. Mauro Vilalaz JEFE LABORATORIO TECNICO </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">   </div>				

El presente informe no puede ser modificado ni reproducido sin autorización del Laboratorio Técnico