

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

Diseño de una planta de biodiesel para la industria de aceites Olmeca S.A.
a partir de aceite de Palma Africana

Guatemala
2008

Diseño de una planta de biodiesel para la industria de aceites Olmecca S.A.
a partir de aceite de Palma Africana

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

Diseño de una planta de biodiesel para la industria de aceites Olmecca S.A.
a partir de aceite de Palma Africana

Trabajo de investigación presentado por
Luis Rolando Martínez Berg
para optar al grado académico de
Ingeniería Química

Guatemala
2008

Vo. Bo. :

(f) _____
Ing. Ronal Adolfo Herrera Orozco
Asesor

Tribunal:

(f) _____
Ing. Gamaliel Giovanni Zambrano Ruano

(f) _____
Ing. Oscar Maldonado

Fecha de aprobación: 21 de enero de 2008

ÍNDICE

	Página
LISTA DE CUADROS.....	vii
LISTA DE GRÁFICOS.....	ix
GLOSARIO.....	x
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A. Biodiesel.....	2
B. Usos del biodiesel.....	2
C. Proceso de elaboración de biodiesel.....	3
1. Diagrama de bloques.....	3
2. Proceso Batch.....	4
3. Reacción de transesterificación.....	5
4. Remoción de metanol.....	5
5. Separación.....	5
6. Neutralización de la glicerina.....	6
7. Lavado del metil ester.....	6
8. Recuperación y neutralización de la glicerina.....	7
9. Recuperación del metanol.....	7
D. Sustancias que intervienen en la fabricación de biodiesel.....	7
1. Productos y subproductos.....	7
E. Ventajas y desventajas del biodiesel.....	12
1. Ventajas del uso del biodiesel.....	12
2. Desventajas del uso del biodiesel.....	13
F. Seguridad.....	13
1. Peligrosidad de las sustancias.....	14
G. Normas de calidad.....	15

	Página
III. JUSTIFICACIÓN.....	17
IV. OBJETIVOS.....	18
A. Objetivo general.....	18
B. Objetivos específicos.....	18
V. PROBLEMA A RESOLVER.....	19
VI. METODOLOGÍA.....	20
VII. RESULTADOS.....	21
VIII. DISCUSIÓN.....	25
IX. CONCLUSIONES.....	30
X. RECOMENDACIONES.....	31
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	32
XII. APÉNDICE.....	33
Cálculos de muestra.....	34
Masa de materia prima.....	34
Materia prima.....	34
Balance de masa.....	34
Balance de energía.....	36
Dimensionamiento de tanques y reactores para el proceso.....	36
Tiempo de operación por Batch.....	37
Costo de vapor.....	38
Datos calculados.....	39
Estudio de factibilidad.....	45
Diagrama de flujo.....	64
Cotizaciones.....	65

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Propiedades de la Glicerina.....	9
2. Propiedades del Ácido Clorhídrico.....	10
3. Propiedades del Metanol.....	11
4. Propiedades del Hidróxido de Sodio.....	12
5. Sustancias peligrosas.....	13
6. Clasificación de grado de peligrosidad según HMIS.....	14
7. Clasificación de las sustancias por la peligrosidad.....	14
8. Normas de calidad para biodiesel B100.....	15
9. Normas de calidad para biodiesel B20.....	16
10. Resumen del Layout	22
11. Características del equipo diseñado.....	23
12. Continuación de características del equipo diseñado.....	23
13. Tasa Interna de Retorno y Valor Anual Neto para el proyecto de elaboración de biodiesel para los diferentes estudios	23
14. Costos de biodiesel para el proceso para los diferentes estudios.....	23
15. Ahorro por la utilización de biodiesel par el proceso en los diferentes estudios.....	24
16. Balance de de masa de vapor para el tanque de Aceite de Palma.....	39
17. Balance de masa de vapor para el reactor de Metóxido de Sodio	39
18. Balance de masa de vapor para el reactor de biodiesel.....	40
19. Balance de masa para el reactor de biodiesel.....	40
20. Balance de masa para el decantador de biodiesel y Glicerol.....	40
21. Balance de energía para el reactor de biodiesel.....	41
22. Accesorios del diseño de la planta de biodiesel.....	42
23. Formulación para producir 1 Batch de biodiesel.....	43
24. Tiempos de operación para un Batch de producción.....	44
25. Equipos a utilizar para la elaboración de biodiesel.....	45
26. Mobiliario de la planta de biodiesel.....	47
27. Depreciación de todo el equipo por el método SMARC.....	48
28. Galones producidos al año de biodiesel y Glicerina.....	48

Cuadro	Página
29. Salarios de los operarios.....	49
30. Consumo eléctrico de la planta.....	49
31. Consumo de vapor por medio de caldera tipo Bunker.....	49
32. Consumo de vapor por medio de caldera tipo Biomasa.....	50
33. Préstamo para la elaboración del proyecto.....	50
34. Costos de materias primas con aceite de Palma de Reproceso.....	51
35. Costos de materias primas con aceite de Palma Caducado.....	51
36. Costos de utilitarios necesario para el diseño de la Planta.....	52
37. Costos de ahorro de aceite de Palma de Reproceso utilizando caldera tipo Bunker.....	52
38. Costos de ahorro de aceite de Palma de Reproceso utilizando caldera tipo biomasa.....	53
39. Costos de ahorro de aceite d Palma Caducado utilizando caldera tipo Bunker.....	53
40. Costos de ahorro de aceite de Palma Caducado utilizando caldera tipo biomasa.....	53
41. Costo de planta de reproceso con caldera tipo Bunker.....	54
42. Costo de planta de reproceso con caldera tipo biomasa.....	54
43. Costo de planta caducado con caldera tipo Bunker.....	55
44. Costo de planta caducado con caldera tipo Biomasa.....	55
45. Flujo de caja utilizando aceite de Palma de Reproceso con vapor de caldera tipo Bunker.....	56
46. Flujo de caja utilizando aceite de Palma de Reproceso con vapor de caldera tipo biomasa.....	58
47. Flujo de caja utilizando aceite de Palma Caducado con vapor de caldera tipo Bunker.....	60
59. Flujo de caja utilizando aceite de Palma Caducado con vapor de caldera tipo biomasa.....	62

LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico	Página
1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de biodiesel.....	3
2. Layout de la planta de biodiesel.....	21
3. Diagrama de flujo de la planta de biodiesel.....	64
4. Cotización bomba neumática de 15.5 galones/min.....	65
5. Cotización bomba neumática de 5 galones/min.....	66
6. Cotización de materia prima.....	67
7. Cotización de construcción de la planta de biodiesel.....	68
8. Calor específico del aceite de Palma Africana.....	69
9. Factores de estimación para una planta.....	70
10. Valores tabla de depreciación SMARC.....	70

GLOSARIO

Aceite

Mezcla de triglicéridos que se hallan acumulados en los tejidos de plantas oleaginosas; son insolubles en agua, no volátiles y a temperatura ambiente son líquidos

Biocombustibles

Contienen componentes derivados a partir de biomasa, es decir, organismos recientemente vivos o sus desechos metabólicos. Los biocomponentes actuales proceden habitualmente del azúcar, trigo, maíz o semillas oleaginosas.

Biodiesel

Mezcla de esteres cuyas propiedades son muy similares a las del aceite combustible diesel, formada a partir de los ácidos grasos de los triglicéridos que componen a los aceites y grasas

Biomasa

La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica; esa energía la podemos recuperar por combustión directa o transformando la materia orgánica en otros combustibles.

Glicerina

Alcohol de tres átomos de carbono saturados en el que cada uno de ellos tiene unido un grupo hidroxilo

Transesterificación

Reacción en la que los triglicéridos se convierten en esteres y glicerina con la utilización de los catalizadores alcalinos

RESUMEN

El objetivo principal es el diseño de una planta de biodiesel a partir de palma africana de Reproceso y Caducado. Esto se hizo mediante la investigación de procesos ya existentes, en donde se optó por el método de transesterificación debido a la facilidad del proceso. Este proyecto se basa en la minimización de costos en el área de combustibles diesel, debido a las alzas del mismo que se han tenido y se siguen teniendo así como en nuestro país como en países extranjeros.

Se diseñaron los tanques de alimentación, así como los de almacenamiento y los reactores a utilizar en el proceso. El dimensionamiento se hizo tomando en cuenta que los tanques tendrán forma cilíndrica y los reactores forma cilíndrica cónica. Así mismo se utilizó la norma ASTM de tanques para el dimensionamiento de los tanques de almacenamiento.

Se realizó el balance de masa y energía así como el análisis económico para una producción de 6650 galones de biodiesel al año, en donde la planta tendrá una inversión inicial de Q1,501,452.29, en donde esto incluye el mobiliario, construcción de la planta, utilitarios, así como la maquinaria para el proceso de elaboración de biodiesel. En donde se determinó el precio costo de biodiesel, para la verificación de la factibilidad del proyecto. En donde se obtuvo un costo de Q 21.73 por galón de biodiesel utilizando aceite de Reproceso y vapor de caldera tipo Bunker, Q 16.89 por galón de biodiesel utilizando aceite de Reproceso y vapor de caldera tipo biomasa, Q 18.37 por galón de biodiesel utilizando aceite Caducado y vapor de caldera tipo Bunker, Q 13.53 por galón de biodiesel utilizando aceite Caducado y vapor de caldera tipo biomasa. Mediante el análisis económico se evaluó la viabilidad de usar el aceite de Reproceso en lugar de reprocesarlo para su venta como aceite comercial.

Los flujos de caja (cuadro #56, #57, #58, #59) muestran la factibilidad de todos los proyectos, en donde la recuperación de los mismos en un plazo menor a 1 año. La TIR y VAN obtenidas de los proyectos son 43% y Q 2,262,677.45 para el proceso de aceite de Palma de Reproceso utilizando una caldera tipo Bunker, un 69% y Q 4,980,061.89 para el proceso de aceite de Palma de Reproceso utilizando una caldera tipo biomasa, un 48% y Q 2,850,170.20 para el proceso de aceite de Palma Caducado utilizando una caldera tipo Bunker y 74% y Q 5,567,554.64 para el proceso de aceite de Palma Caducado utilizando una caldera tipo biomasa en donde se demuestra que la utilización de aceite de Palma Caducado con utilización de vapor con caldera tipo biomasa es la más factible, para la empresa. No obstante cualquier proyecto llega a ser factible para la empresa.

I. INTRODUCCIÓN

Los aceites vegetales pueden obtenerse por procedimientos convencionales a partir de plantas oleaginosas de las que el girasol, soja, palma, entre otras, parecen las más interesantes. Aunque los aceites vegetales se han utilizado en el pasado como combustible, para su utilización en motores precisan, no obstante, de una preparación consistente en un desengomado y filtración previos. Las semillas son prensadas mecánicamente separándose el aceite y la torta, normalmente se somete a las semillas a un calentamiento previo y a la acción de un solvente, con lo que se logran rendimientos de extracción de aceite cercanos al 100 %.

El biodiesel es un combustible diesel obtenido a partir de aceites vegetales o grasas animales que funciona en cualquier motor diesel. La obtención del biodiesel se basa en la reacción con metanol o etanol (Proceso de Transesterificación) de las moléculas de triglicéridos para producir ésteres. De esta manera se consigue que las moléculas grandes y ramificadas iniciales, de elevada viscosidad y alta proporción de carbono se transformen en otras de cadena lineal, pequeñas, con menor viscosidad y porcentaje de carbono y, como ya se ha dicho, de características físico-químicas y energéticas más similares al gasoil de automoción.

El proceso químico es relativamente sencillo, sin embargo para producir un biodiesel de calidad deben optimizarse las variables del proceso, tales como el exceso de metanol, la catálisis del mismo, desactivación del catalizador, agitación, temperatura y, en general, todas las variables del proceso. La viscosidad del éster es menos de dos veces superior a la del gasoil, frente a las 10-20 veces la del aceite vegetal crudo. La composición del biodiesel deriva de las características químicas de los aceites utilizados.

En la Industria Olmeca S.A. se tienen plantaciones propias de Palma Africana, la cual año con año ha ido creciendo debido a la gran demanda de aceite que se tiene. Actualmente se tienen 500 mil hectáreas de cultivo, lo cual se genera una gran cantidad de aceite de Palma Africana, con lo cual es suficiente para mantener una planta propia de biodiesel en las instalaciones.

Actualmente el biodiesel es una nueva alternativa de energía renovable, en países europeos esta energía se ha ido produciendo gradualmente debido a la reducción de contaminación que este provoca. Además de que se producen grandes cantidades de biodiesel en Europa, ésta ya se puede encontrar en estaciones de servicio. En América esta fuente de energía aún no ha sido totalmente implementada aunque en países como Argentina y Uruguay ya contienen plantas productoras de biodiesel las cuales producen grandes cantidades, para el uso interno de fábricas que estas la producen.

II. ANTECEDENTES

A. Biodiesel

Los componentes principales de las grasas vegetales del aceite y animales son triglicéridos. Químicamente, los triglicéridos son ésteres de los ácidos grasos (FA) con el glicerol (1,2,3-propanetriol; el glicerol a menudo también se llama glicerina). Los triglicéridos de las grasas vegetales de aceite contienen ácidos grasos (Knothe, *et. al.*, 2005).

Para obtener el biodiesel, la grasa vegetal del aceite está sujeta a una reacción química llamada transesterificación. En que la reacción, la grasa vegetal del aceite está reaccionada en la presencia de un catalizador (generalmente una base) con un alcohol (generalmente metanol) para dar los ésteres correspondientes (o para el metanol, los ésteres metílicos) de la mezcla de los ácidos grasos que se encuentra en la grasa vegetal del aceite. El biodiesel se puede producir de una gran variedad de materias base. Estas materias de base incluyen la mayoría de las grasas vegetales comunes del aceite (soja, la semilla de algodón, la palma, el cacahuete, canola, girasol, coco) (Knothe, *et. al.*, 2005).

El biodiesel es miscible con el diesel en todos los cocientes. En muchos países, esto ha conducido al uso de mezclas del biodiesel con el diesel en vez de biodiesel aseado. Es importante observar que estas mezclas con el petrodiesel no son biodiesel. Las mezclas con el petrodiesel son denotadas a menudo por siglas tales como B20, que indica una mezcla del biodiesel del 20% con el diesel. El metanol se utiliza como el alcohol para producir el biodiesel porque es el menos costoso, aunque otros alcoholes tales como etanol pueden rendir un combustible del biodiesel con mejores características del combustible (Knothe, *et. al.*, 2005).

B. Usos del biodiesel

El uso de los ésteres del nitrato de ácidos grasos en combustible diesel fue divulgado en una patente. Los añadidos de funcionamientos múltiples que consistían en los ésteres grasos nitrados para mejorar la combustión y la lubricidad fueron divulgados. Los nitratos del glicol de los ácidos de las longitudes de cadena C6, C8, C14, C16, y C18 (ácido oleico) también fueron preparados y probaron como los promotores del cetano con glicol de C6- C14 nitratan demostrar mejor cetano-mejorar el funcionamiento debido a un equilibrio de los números del carbón y de los grupos del nitrato. Estos compuestos son más estables y menos volátiles que el nitrato del ethylhexyl (EHN), el promotor comercial más común del cetano, y su capacidad cetano-que realza son los hasta 60% de el de EHN. El biodiesel se puede utilizar como aceite de calefacción. En Italia, los ésteres de los aceites vegetales sirven como aceite de calefacción en vez del combustible diesel. Un estándar europeo, EN 14213, fue establecido para este propósito (Knothe, *et. al.*, 2005).

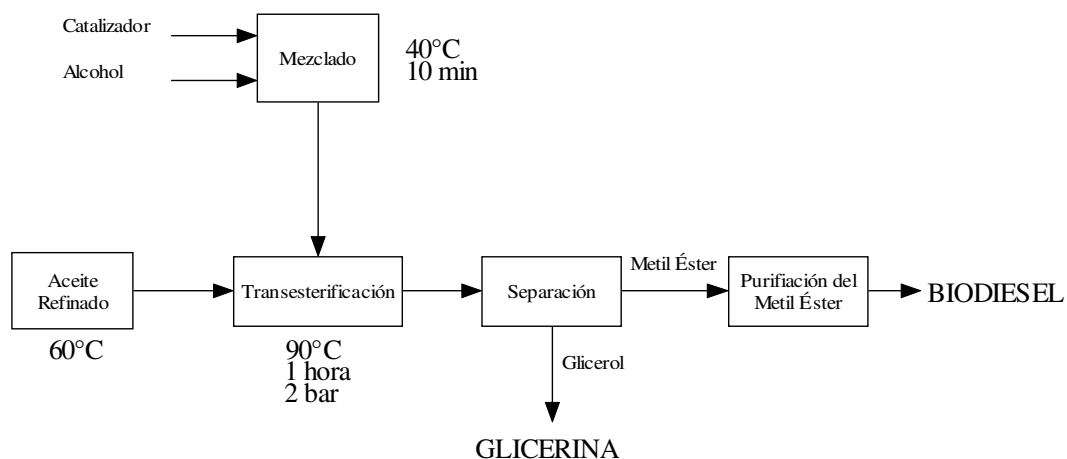
Un proyecto saliente en este respecto ha sido el uso del biodiesel como el aceite de calefacción para el edificio de Reichstag en Berlín, Alemania. Otro uso sugerido del biodiesel como combustible ha estado en la aviación. Un problema importante asoció a preocupaciones de este uso las características a baja temperatura del biodiesel, que hacen factible para el uso solamente en el avión del bajo-vuelo. Además de la porción como combustibles, los ésteres de las grasas vegetales del aceite y animales se pueden utilizar para numeroso otros propósitos. Los ésteres metílicos pueden servir como intermedios en la producción de alcoholes grasos de los aceites vegetales. Los alcoholes grasos se utilizan en surfactantes y fuentes de la limpieza. Los ésteres ramificados de ácidos grasos se utilizan como lubricantes, con su biodegradabilidad mejorada haciéndolos atractivos, dado las consideraciones ambientales. Los ésteres del aceite vegetal también poseen buenas características solventes. Esto es demostrado por su uso como un medio para las playas de limpieza contaminadas con el petróleo crudo (petróleo) (Knothe, *et. al*, 2005).

El alto punto de destello, los compuestos orgánicos volátiles bajos, y las características ambientales benignas de compuestos del soyate metílico hacen atractivo como agente de limpieza. La fuerza solvente del soyate metílico también es demostrada por su alto valor Kauri-kauri-Butanol (en lo que concierne la energía solvente de los solventes del hidrocarburo), que hace a la similar o a superior a muchos solventes orgánicos convencionales. Los ésteres metílicos del aceite de la rabeña fueron sugeridos como plastificantes en la producción de plásticos (Knothe, *et. al*, 2005).

C. Proceso de elaboración de biodiesel

1. Diagrama de bloques.

Gráfico #1: Diagrama de bloques del proceso de elaboración de Biodiesel



2. Proceso Batch. El método más simple para producir ésteres alcohólicos es utilizando reactores agitados por lotes. Relaciones de alcohol a triglicérido de 4:1 a 20:1 (mol:mol) han sido reportados, con una relación más común de 6:1. El reactor debe ser sellado o equipado con un condensador de reflujo. La temperatura de operación es usualmente 65°C aproximadamente, aunque temperaturas de 25°C a 85°C han sido reportados (Van Germen J., B. Shanks y R. Prusko; 2004).

El catalizador comúnmente utilizado es hidróxido de sodio, aunque el hidróxido de potasio también puede ser utilizado. Las típicas cargas de catalizador van de un rango de 0.3% a 1.5%. El mezclado completo es necesario en el inicio de la reacción para garantizar que tanto el aceite, catalizador y el alcohol entren en contacto íntimo. Hacia el final de la reacción, una menor agitación puede ayudar a incrementar la extensión de la reacción permitiendo que el producto inhibitorio, glicerol, se separe como otra fase de la fase éster-aceite. Conversiones de 85% a 94 % son reportados. Algunos grupos usan una reacción en dos etapas, con la remoción de glicerol entre etapas, para incrementar la conversión final de la reacción a 95%. Mayores temperaturas y mayores relaciones de alcohol:aceite también pueden aumentar el porcentaje de conversión. Típicos tiempos de reacción están en el rango de 20 minutos a más de una horas (Van Germen J., B. Shanks y R. Prusko; 2004).

El aceite es primero cargado al sistema, seguido del catalizador y el metanol. El sistema es agitado durante el tiempo de reacción. Luego la agitación es detenida. En algunos procesos, a la mezcla de la reacción es permitido sedimentar en el reactor para dar una separación inicial de los ésteres y glicerol. En otros procesos la mezcla de reacción es bombeado a un recipiente de sedimentación, o es separado utilizando una centrifugadora (Van Germen J., B. Shanks y R. Prusko; 2004).

El alcohol es removido tanto del glicerol y del éster usando un evaporador o una unidad flash. Los esterres son neutralizados, lavados utilizando calor, agua un poco acidificada para remover metanol residual y sales, y luego secado. El biodiesel es luego transferido a almacenamiento. La corriente de glicerol es neutralizado y lavado con agua suave. El glicerol es luego enviado a la sección de refinamiento de glicerol (Van Germen J., B. Shanks y R. Prusko; 2004).

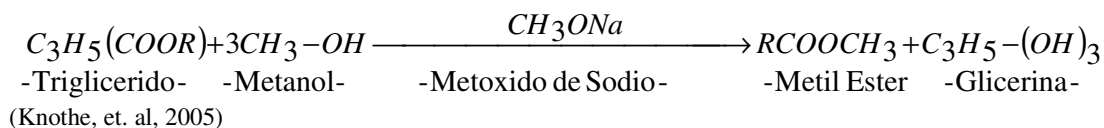
Para grasa animal, el sistema es un poco modificado con la adición de un recipiente de esterificación ácida y uno para el almacenamiento del catalizador ácido. El ácido es a veces secado (por debajo del 0.4%) y filtrado antes de cargar el tanque de esterificación ácida. La mezcla de ácido sulfúrico y metanol es adicionado y el sistema es agitado. Temperaturas semejantes a la transesterificación son usadas y algunas veces el sistema es presurizado o un solvente es adicionado. Glicerol no es producido. Si un tratamiento en dos etapas es usado, la agitación es suspendida hasta que la fase de metanol se separa y es

removida. Metanol fresco y ácido sulfúrico son adicionados y la agitación se reanuda. Una vez que la conversión de los ácidos grasos a metil ésteres ha alcanzado el equilibrio, la mezcla metanol/agua/ácido es removida por sedimentación o con una centrifugadora. La mezcla remanente es neutralizada o enviada a la transesterificación donde será neutralizada usando exceso de catalizador básico. Cualquier ácido graso remanente será convertido en jabón en la etapa de transesterificación. La etapa del proceso de transesterificación por lotes es como se describió anteriormente (Van Germen J., B. Shanks y R. Prusko; 2004).

3. Reacción de transesterificación. La mezcla de metanol y catalizador es entonces cargada en un reactor, ya sea en forma continua o por lotes, y se adiciona el aceite. La mezcla se mantiene aproximadamente a 65 °C, por entre 1 y 8 horas bajo una vigorosa agitación. El exceso de metanol es usado normalmente para asegurar la conversión total del aceite o la grasa en metil éster. El catalizador reaccionará primero con cualquier ácido graso libre en el aceite para formar jabón. Debe haber suficiente catalizador adicional, para catalizar la reacción tanto como para reaccionar con los ácidos grasos libres (Knothe, *et. al.*, 2005).

Si el nivel de ácidos grasos libres es demasiado elevado (0,5% a 1%) o si hay agua presente, el jabón formado empieza a generar emulsiones con el metanol y el aceite, impidiendo que la reacción ocurra. En algunos casos la emulsión puede ser tan fuerte que forma un producto irrompible de apariencia similar al queso. En este caso el producto debe ser removido físicamente del sistema, y luego puede ser desfragmentado. Por estas razones, el aceite es tratado para remover ácidos grasos y todas las corrientes de alimentación se mantienen libres de agua (Knothe, *et. al.*, 2005).

La reacción de transesterificación es:



4. Remoción del metanol. En algunos sistemas el exceso de metanol se remueve por un simple proceso de destilación. En otros sistemas el metanol se remueve después de que la glicerina y los retores han sido separados. En cualquiera d los casos el metanol se recupera y reutiliza usando un equipo convencional. Se debe tener cuidado para asegurarse que no se acumule agua en las corrientes de recuperación del metanol (Knothe, *et. al.*, 2005).
5. Separación. Una vez que la reacción se ha completado y el metanol ha sido removido, existen dos productos principales:

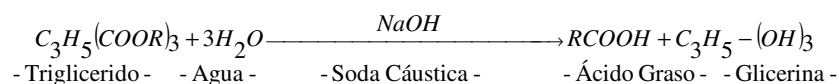
- Metil éster
- Glicerina

Debido a la diferencia de densidades entre la glicerina y el metil éster, los dos pueden ser separados por gravedad y la glicerina es simplemente retirada por el fondo. En algunos casos se usa una centrífuga para la separación. Cualquier capa difusa puede ser reciclada o enviada a un tratamiento de efluentes (Knothe, *et. al*, 2005).

6. Neutralización de la glicerina. La glicerina resultante contiene catalizador que no ha sido utilizado y jabón, el cual se neutraliza con un ácido formando sales, y se envía a almacenamiento como glicerina cruda. En algunos casos (catalizador: K-OH, ácido: PO₄H₃) la sal se recupera y se utiliza como fertilizante. La mayoría de las veces, sin embargo, se usa ácido clorhídrico y soda cáustica, que forman cloruro de sodio el cual es dejado simplemente en la glicerina. La glicerina tiene generalmente una pureza de entre 80% y 88% y puede ser vendida como glicerina cruda (Knothe, *et. al*, 2005).
7. Lavado del metil éster. Una vez separado de la glicerina, el metil éster se lava con agua tibia para remover catalizador residual o jabón, se seca, y se envía a almacenamiento. Algunos procesos pueden eliminar la etapa de lavado a través del uso de insumos limpios (Knothe, *et. al*, 2005).

Este proceso da como resultado un éster con 98% de pureza que puede ser vendido como combustible. En algunos casos, los ésteres se destilan al vacío para conseguir un nivel más alto de pureza. La etapa de lavado está fuertemente afectada por el nivel de ácidos grasos libres en la alimentación. A mayor cantidad de éstos, mayor formación de jabón, y por consiguiente mayor necesidad de agua de lavado. Si el contenido de jabón es alto, será necesaria mucha agua de lavado, la que puede reaccionar con el aceite originando una reacción en cadena que dará por resultado la formación de más jabón.

Obviamente, esto se traduce en una disminución del rendimiento (Knothe, *et. al*, 2005).



(Knothe, *et. al*, 2005)

8. Recuperación y neutralización de la glicerina. La glicerina resultante es separada del metanol que contenga por medio de destilación. Para neutralizar esta glicerina recuperada se usa ácido clorhídrico. La glicerina tiene generalmente una pureza de entre 80% y 88% y puede ser vendida como glicerina cruda (Knothe, *et. al*, 2005).

9. Recuperación del metanol. El metanol y el agua provenientes de los procesos de recuperación de glicerina y de purificación del metilester se envían a una segunda columna de destilación para recuperar el metanol. Este será reutilizado en el proceso. Se debe tener cuidado para asegurarse que no se acumule agua en las corrientes de recuperación del metanol (Knothe, *et. al*, 2005).

D. Sustancias que intervienen en la fabricación de biodiesel

1. Productos y subproductos. El producto de interés ha sido bien documentado en los últimos veinte años, a continuación se dan a conocer propiedades reportadas en la literatura concerniente al biodiesel. Además, se presentan propiedades del principal subproducto a considerar: la glicerina.

- **Biodiesel.** Las propiedades que se observan en el biodiesel dependen del mezclado o no que se haga con petrodiesel.

El biodiesel B100 tiene bastantes características que son similares a las que presenta el diesel. Algunas características importantes son (US department of Energy; 2004):

- Es buen solvente. Tiene la capacidad de disolver los sedimentos que se forman en los tanques de combustible.
- Se congela a temperaturas mayores que las temperaturas a las que lo hace el diesel.
- No es compatible con algunas gomas o cauchos. Tiene la capacidad de ablandar y degradar ciertos compuestos que se encuentran en mangueras y juntas.
- No es compatible con algunos metales y plásticos. Se pueden formar sedimentos al entrar en contacto con metales que contienen cobre, plomo, estaño o zinc.
- Contiene una menor cantidad de azufre en comparación con el diesel.
- Tiene una capacidad lubricante mayor en comparación con el diesel.

- El contenido energético es uniforme. No se presenta el problema común del diesel de variar hasta en un 15% en contenido energético de proveedor a proveedor o de acuerdo a las condiciones de temperaturas. La variación es debida básicamente por cambios en su composición o por prácticas de refinamiento o mezclado.
- Tiene un número de cetano de aproximadamente 47. A diferencia del valor observado en el petrodiesel, cuyo valor promedio oscila entre 42 y 44. Esto se traduce en un encendido más fácil y en una operación del motor más silenciosa. Debe tenerse en cuenta que este número de cetano varía de acuerdo a la fuente de la cual se elabora el biocombustible, así, el biodiesel obtenido de aceites saturados (los hechos a partir de grasas animales o de aceites usados) pueden tener valores de 70 o más.
- **Glicerina.** Es una sustancia incolora, con un sabor dulce a alcohol. La glicerina líquida es resistente a la congelación, pero puede cristalizar a baja temperatura. Es soluble en agua en cualquier proporción, y se disuelve en alcohol, pero es insoluble en éter y muchos otros disolventes orgánicos (Budavari, 1996).

El uso más frecuente de la glicerina es la elaboración de resinas alquílicas. Otras aplicaciones son la fabricación de medicinas y artículos de aseo, como pasta de dientes; como agente plastificante para el celofán y como agente humidificante de productos derivados del tabaco (Budavari, 1996).

Dado que existen otros productos más baratos, solamente el 5% de la producción industrial de glicerina se destina a la fabricación de explosivos derivados de ella. Por su afinidad con el agua y su viscosidad, la glicerina se utiliza para la tinta de los tampones de sellar. También se usa para lubricar la maquinaria que bombea los productos del petróleo, debido a su resistencia a disolverse en los líquidos del petróleo. Por su alta viscosidad y ausencia de toxicidad, la glicerina es un excelente lubricante para las máquinas procesadoras de alimentos (Budavari, 1996).

Cuadro #1: Propiedades de la Glicerina

Fórmula química	C ₃ H ₈ O ₃
Peso molecular	92.09
Estado físico	líquido higroscópico
Color	incoloro
Olor	Característico
pH	----
Punto de fusión	----
Punto de ebullición	290°C
Presión de vapor	0.1 kPa a 20°C
Densidad relativa:	Gravedad específica (H ₂ O = 1): 3.17
Solubilidad	- en agua: miscible
Viscosidad	----
Punto de ignición	----
Temperatura de auto-ignición	400°C
Estabilidad	La sustancia se descompone al arder, en contacto con superficies calientes u oxidantes fuertes, bajo la influencia de sustancias higroscópicas, produciendo acroleína. Reacciona con oxidantes fuertes originando riesgo de incendio y explosión.

(Estrucplan; 2005)

- **Ácido Clorhídrico.** El ácido clorhídrico es una disolución acuosa de cloruro de hidrógeno. El nombre de ácido muriático, con el que también se le conoce, le fue dado por Lavoisier, basado en el hecho de que "muriato" indicaba la presencia de cloro en los compuestos inorgánicos. Es un líquido de color amarillo (por presencia de trazas de hierro, cloro o materia orgánica) o incoloro con un olor penetrante (Budavari, 1996).

Se utiliza en la refinación de minerales, en la extracción de estaño y Tántalo, para limpiar metales, como reactivo químico, en la hidrólisis de almidón y proteínas para obtener otros productos alimenticios y como catalizador y disolvente en síntesis orgánica (Budavari, 1996).

Sus vapores son irritantes a los ojos y membranas mucosas. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Pierde parte de la solubilidad al aumentar la temperatura, es menos soluble en alcohol, éter y otros disolventes orgánicos (Budavari, 1996).

Es corrosivo de metales y tejidos. Para su obtención se tienen diferentes procesos industriales, entre los cuales se encuentran: la reacción entre cloruro de sodio o

potasio con ácido sulfúrico; la reacción de bisulfuro de sodio con cloruro de sodio, conocido como proceso Meyer; el proceso Hargreaves, en el cual se usa óxido de azufre, sal y vapor (Budavari, 1996).

Cuadro #2: Propiedades del Ácido Clorhídrico

Fórmula química	HCl
Peso molecular	36.46
Estado físico	Líquido
Color	incolore
Olor	Característico
pH	----
Punto de fusión	-26°C
Punto de ebullición	48°C
Presión de vapor	----
Densidad relativa:	Gravedad específica (H ₂ O = 1): 1.18
Solubilidad	- en agua: miscible
Viscosidad	----
Punto de ignición	----
Temperatura de auto-ignición	385 °C
Estabilidad	Estable bajo condiciones normales de manipulación y almacenamiento. Es sensible a la luz solar directa

(Estrucplan; 2005)

- **Metanol.** Es un líquido incoloro, venenoso, con olor a etanol y cuando está puro puede tener un olor repulsivo. Arde con flama no luminosa. Se utiliza industrialmente como disolvente y como materia prima en la obtención de formaldehido, metil-ter-butil éter, ésteres metílicos de ácidos orgánicos e inorgánicos. También se usa como anticongelante en radiadores automovilísticos; en gasolinas y diesel; en la extracción de aceites de animales y vegetales y agua de combustibles de automóviles y aviones; en la desnaturalización de etanol; como agente suavizante de plásticos de piroxilina y otros polímeros y como disolvente en la síntesis de fármacos, pinturas y plásticos (Budavari, 1996).

Durante mucho tiempo se obtuvo por destilación destructiva de madera a altas temperaturas, en la actualidad se produce por hidrogenación catalítica de monóxido de carbono a presiones y temperaturas altas, con catalizadores de cobre-óxido de cinc; por oxidación de hidrocarburos y como subproducto en la síntesis de Fischer-Tropsch (Budavari, 1996).

Cuadro #3: Propiedades del Metanol

Fórmula química	CH ₃ OH
Peso molecular	32.0
Estado físico	Líquido
Color	Incoloro
Olor	Característico
pH	----
Punto de fusión	-94°C
Punto de ebullición	65°C
Presión de vapor	12.3 kPa a 20°C
Densidad relativa:	Gravedad específica (H ₂ O = 1): 1.1
Solubilidad	- en agua: miscible
Viscosidad	----
Punto de ignición	----
Temperatura de auto-ignición	385 °C
Estabilidad	El vapor se mezcla bien con el aire, formándose fácilmente mezclas explosivas.

(Estrucplan; 2005)

- **Hidróxido de sodio.** El hidróxido de sodio es un sólido blanco e industrialmente se utiliza como disolución al 50 % por su facilidad de manejo. Es soluble en agua, desprendiéndose calor. Absorbe humedad y dióxido de carbono del aire y es corrosivo de metales y tejidos (Budavari, 1996).

Se usa en síntesis, en el tratamiento de celulosa para hacer rayón y celofán, en la elaboración de plásticos, jabones y otros productos de limpieza, entre otros usos. Se obtiene, principalmente por electrólisis de cloruro de sodio, por reacción de hidróxido de calcio y carbonato de sodio y al tratar sodio metálico con vapor de agua a bajas temperaturas (Budavari, 1996).

Cuadro #4: Propiedades del Hidróxido de Sodio

Fórmula química	NaOH
Peso molecular	40.01
Estado físico	material sólido, cristalino
Color	Translúcido
Olor	Inodoro
pH	~14 (solución al 5%)
Punto de fusión	318°C
Punto de ebullición	1390°C
Presión de vapor	1.5 mmHg (0.2 kPa) a 20°C
Densidad relativa:	Gravedad específica (H ₂ O = 1): 2.13 a 15.5°C
Solubilidad	- Agua: completamente soluble en agua (solución al 50% a 10°C [50°F]) acompañada de una liberación de calor significativa - Grasa: no aplica
Viscosidad	50 cps a 36°C para una solución al 50%
Punto de ignición	no inflamable
Temperatura de auto-ignición	no aplica
Estabilidad	ligeramente reactivo

(Estrucplan; 2005)

E. Ventajas y desventajas del biodiesel

1. Ventajas del uso del biodiesel

- No requiere mayores modificaciones para su uso en motores diesel comunes, por lo tanto es compatible con los motores diesel actualmente comercializados.
- Miscible en todas proporciones con el diesel, por lo tanto puede utilizarse en mezclas con diesel común en cualquier proporción.
- Confiere excelentes propiedades de lubricidad al diesel.
- Presenta un menor nivel de emisiones gaseosas de combustión nocivas, sobre todo la emisión de CO₂.
- Es obtenido a partir de aceites vegetales, totalmente renovables.
- Permite al productor agropecuario autoabastecerse de combustible.
- Permite a países agrícolas independizarse de los países productores de petróleo.
- Su rendimiento en motores es similar al del gasoil derivado de petróleo.
- No requiere cambios de infraestructura para su adopción.

- No altera sustancialmente el torque o el consumo.
- Reduce en gran medida los humos visibles durante el arranque.
- Es un combustible más rápidamente biodegradable y menos toxico que el diesel.
- Su transporte y almacenamiento es más seguro dado elevado punto de ebullición (más elevado que el del diesel).
- Puede producirse a partir de cultivos abundantes en el país, como la soja.
- No contiene azufre, y permite el uso de catalizadores.

2. Desventajas del uso del biodiesel

- Posee materias primas con un costo que puede sufrir grandes variaciones.
- Su combustión puede acarrear un aumento de óxidos de nitrógeno (NOX).
- Si no se encuentra correctamente transesterificado, puede contener residuos ácidos.
- Presenta problemas de fluidez a bajas temperaturas (menores a 0°C).
- El poder calorífico es menor que el del diesel.
- Presenta escasa estabilidad oxidativa, por lo que no es aconsejable mantenerlo por periodos grandes de almacenamiento.
- Si el producto no posee la calidad adecuada, hay problemas como corrosión de tanques e hinchamiento de mangueras en altas proporciones.
- Su carga en tanques ya sucios por depósitos provenientes del gasoil puede presentar problemas cuando, debido a su poder solvente “limpia” dichos depósitos, acarreándolos por la línea de combustible.

F. Seguridad

Cuadro # 5: Sustancias peligrosas

Sustancia	Sinónimos	#CAS	Lugar de utilización
Metanol	Alcohol metílico, carbinol, Monohidroximetano	67-56-1	Proceso
Metóxido de Sodio	Metilato sódico, Metanolato sódico	124-41-4	Producto
Hidróxido de Sodio	Sosa cáustica, lejía cáustica	1310-73-2	Proceso
Glicerol	Glicerina, 1,2,3-Propanotriol, 1,2,3-Trihidroxipropano	56-81-5	Producto
Biodiesel	Methyl Soyate, Rapeseed Methyl Ester (RME), Methyl Tallowate	Methyl Soyate: 67784-80-9; RME: 73891-99-3; Methyl Tallowate: 61788-71-2	Producto

(Estrucplan; 2005)

1. Peligrosidad de las sustancias. Para la identificación de sustancias peligrosas, es necesario saber que todo producto posee un código de seguridad en su etiqueta y MSDS respectiva, la codificación que se utiliza es la de HMIS (Hazardous Material Information System), en este sistema se toman en consideración para determinar la peligrosidad de una sustancia las características de: peligro para la salud, inflamabilidad y reactividad (Herrera M., *et. al.*; 2004).

Cuadro #6: Clasificación de grado de peligrosidad según HMIS




Código	Significado
0	Ninguno
1	Ligero
2	Moderado
3	Severo
4	Extremo

(Herrera M., *et. al.*; 2004)

Dependiendo de la sustancia se incluyen en estos códigos letras, las cuales indican el tipo de equipo de protección que se debe utilizar (Herrera M., *et. al.*; 2004).

En la cuadro #7 se presentan las sustancias y sus grados de peligro según la clasificación de HMIS (Hazardous Material Information System), además se incluye en esta cuadro algunos aspectos de almacenaje. Las sustancias han sido ordenadas según su grado de peligro para la salud (Herrera M., *et. al.*; 2004).

Cuadro #7: Clasificación de las sustancias por la peligrosidad

Sustancia	Salud 	Inflamabilidad 	Reactividad 	Almacenamiento
Metanol	3	4	4	Lugar fresco a prueba de incendios. Fuera del alcance de oxidantes fuertes.
Metóxido de Sodio	3	4	4	Almacenar en lugar seco y frío. Separado de ácidos y oxidantes fuertes
Hidróxido de Sodio	3	0	1	Almacenar en recipientes cerrados, libre de agua.
Glicerol	2	1	2	Lugar seco, herméticamente cerrado.
Biodiesel	0	1	0	Mantener en lugares frescos, recipientes cerrados. Alejado de fuentes de calor.

(Estrucplan; 2005)

Del cuadro #7, se puede identificar según la codificación que en el proceso interviene sustancias peligrosas como: metanol, Metóxido de sodio, ácido sulfúrico e hidróxido de potasio.

Además se identifican en este mismo cuadro, que las sustancias no peligrosas son: biodiesel, glicerol, ya que son las que están en un rango de baja peligrosidad (reactividad, inflamabilidad y salud).

G. Normas de calidad

Existen en Estados Unidos y Europa, normas de calidad para el biodiesel. En el caso de Europa existen normas tanto a nivel de cada país como de Unión Europea.

En Estados Unidos es la ASTM quien establece los rangos y normas de calidad para el biodiesel; la ASTM ha establecido las normas para el B100 que se utilizará ya sea en forma pura o en mezclas (de B20 a niveles menores de concentración) (US department of Energy; 2004).

La ASTM especifica los parámetros o estándares de calidad para el B100, con el código ASTM D6751-03, aunque esta norma aun no ha sido aprobada por una parte de los fabricantes, es aceptada y usada a nivel internacional. Para el caso del presente informe se basará en las normas que dicta la ASTM.

A continuación se presenta en las cuadros 8 y 9 los principales estándares de calidad para B100 y B20 respectivamente que aparecen en la ASTM D6751-03:

Cuadro #8: Normas de calidad para biodiesel B100

PROPIEDAD	MÉTODO ASTM	LÍMITES	UNIDADES
Apariencia	D 4176	Clara y brillante	-
Número Ácido	D 664	0.25 máx.	mg KOH/g
Densidad Relativa(15°C)	D 4052,	0.835-0.855	-
Viscosidad (40°C)	D 445	2.9-4.1	mm ² /s
Punto de ignición	D 93	52 min.	°C
Contenido de sulfuro	D 2622	0.05 máx.	% masa
Temperatura de destilación (recuperación del 90%)	D 1160	626 máx.	F
Residuo de carbón En el 10% del fondo	D524	0.35áx.	% masa
Cenizas	D482	0.01 máx.	% masa
Estabilidad a la oxidación, insolubles totales	D2274	15 máx.	mg/l

(Blanco R.G., G.E. Chavarría y C.L. Salazar; 2004)

Cuadro #9: Normas de calidad para biodiesel B20

PROPIEDAD	MÉTODO ASTM	LÍMITES	UNIDADES
Punto de ignición	D93	130 min.	° C
Agua y sedimentos	D2709	0.050 máx.	% volumen
Viscosidad Cinemática (40° C)	D445	2.9-6.0	mm ² /s
Cenizas sulfatadas	D874	0.020 máx.	% masa
Sulfuros	D5453	0.05 máx.	% masa
Residuo de carbón Muestra 100 %	D4533	0.050 máx.	% masa
Número ácido	D664	0.80 máx.	mg KOH/g
Glicerol libre	D6584	0.020 máx.	% masa
Glicerol Total	D6584	0.240 máx.	% masa
Contenido de fósforo	D4951	0.001 máx.	% masa
Temperatura de destilación (recuperación del 90%)	D1160	360 máx.	° C

(Blanco R.G., G.E. Chavarría y C.L. Salazar; 2004)

Estas normas dirigen su enfoque hacia la obtención de un producto que además de contar con estándares de calidad que garanticen un mejor funcionamiento del motor, también garantice un producto seguro para el que lo usa y que al ser utilizado en los motores se han reducidas sus emisiones contaminantes, es decir, un producto rentable y amigable al ambiente.

III. JUSTIFICACIÓN

El biodiesel es un carburante de origen biológico y renovable, procedente de aceites vegetales usados o sin usar o de grasas animales, destinado al uso en motores de automóviles, sustituyendo al diesel de origen fósil.

Debido al constante aumento del valor del diesel, se disminuirá el consumo del diesel, haciendo una mezcla del mismo con biodiesel. El cual según un estudio realizado en la Universidad San Carlos de Guatemala por Herbert Roberto Romero Erazo con título “Elaboración, análisis y comparación de biodiesel a partir de aceite de palma usado (*Elaeis guineensis*) mediante dos procesos, a nivel planta piloto” en agosto del año 2005 se tiene que se debe de hacer una mezcla diesel-biodiesel en un 85%-15%, con lo cual se disminuirá la compra del diesel, evita que se dañe el motor de los vehículos y se tenga una mayor eficiencia. Para esta mezcla se producirán 6650 galones de biodiesel para abastecer la cantidad de combustible a los automóviles de la empresa.

Otra razón para la fabricación del biodiesel dentro de la empresa es que esta tiene sus propias plantaciones de aceite de palma africana, la cual se utilizara para el proceso de elaboración del biodiesel. Esto minimiza costos, ya que no se debe de comprar una de las materias primas a utilizar en la elaboración del biodiesel.

Se utilizará la mezcla de los componentes debido a que se pretende utilizar para implementarlos en los motores de los vehículos y camiones utilizados en la empresa.

En la actualidad hay una gran demanda de combustibles fósiles, esto conlleva a un alza en el precio de venta de los mismos, por lo que es necesario buscar fuentes alternativas, que permitan tener el mismo desempeño y eficiencia, a un costo menor. Por ello se realiza el presente estudio económico para el diseño de una planta de biodiesel.

Con esta mezcla, aseguramos una combustión más limpia, y disminuimos la contaminación atmosférica producida por la combustión del vehículo.

Para la elaboración del biodiesel y obtener un menor costo de materia prima se utilizara aceite vencido que proviene de los lugares de venta o incluso los que no se logran vender en cierto tiempo que están en bodega, así como la utilización de aceite reprocessado, el cual se hará un estudio de si es viable reprocessarlo o enviarlo a almacenamiento de biodiesel.

Otro factor es que en un futuro la empresa puede para recuperar la inversión en un futuro, es vender una parte del biodiesel fabricado a un precio accesible esto con el hecho de recuperara la inversión del proyecto.

IV. OBJETIVOS

A. Generales

Diseñar una planta de biodiesel a partir de aceite de palma africana de reproceso o caducado para la industria de aceites OLMECA S.A.

B. Específicos

- Diseñar una planta de producción de biodiesel con una capacidad de 6650 galones mensuales a partir de aceite de palma africana.
- Determinar el costo por galón de biodiesel utilizando una caldera tipo Bunker o de biomasa.
- Mediante un análisis financiero determinar el tiempo de retorno de la inversión.
- Evaluar la utilización de aceite de reproceso y caducado para la fabricación de biodiesel.
- Realizar el estudio económico y técnico del diseño de la planta de biodiesel.

V. PROBLEMA A RESOLVER

Los combustibles fósiles actualmente sufren de una elevación constante de su precio, por lo cual se buscan nuevas alternativas de remplazarlas. Se ha encontrado que los biocombustibles son capaces de sustituir los combustibles fósiles, por lo cual en este trabajo se pretende diseñar una planta de biodiesel capaz de disminuir los costos de diesel utilizados en la industria actualmente

VI. METODOLOGÍA

A. Secuencia

- Dimensionar el tamaño de la planta conforme el espacio disponible.
- Determinar la materia prima a utilizar en el proceso de fabricación de biodiesel.
- Obtener las propiedades fisicoquímicas del biodiesel, para que sean parte del análisis de laboratorio.
- Determinar los equipos a utilizar para el proceso de fabricación de biodiesel, como lo son reactores, bombas, tanques de almacenamiento.
- Diseñar la planta de biodiesel según el manual de biodiesel.
- Cotizar los costos de las materias primas a utilizar.
- Cotizar los costos de los equipos a utilizar, tuberías, accesorios y materiales de construcción.
- Realización de la depreciación de equipos utilizando el método SMARC
- Realización del estudio económico y técnico.

B. Equipo a utilizar

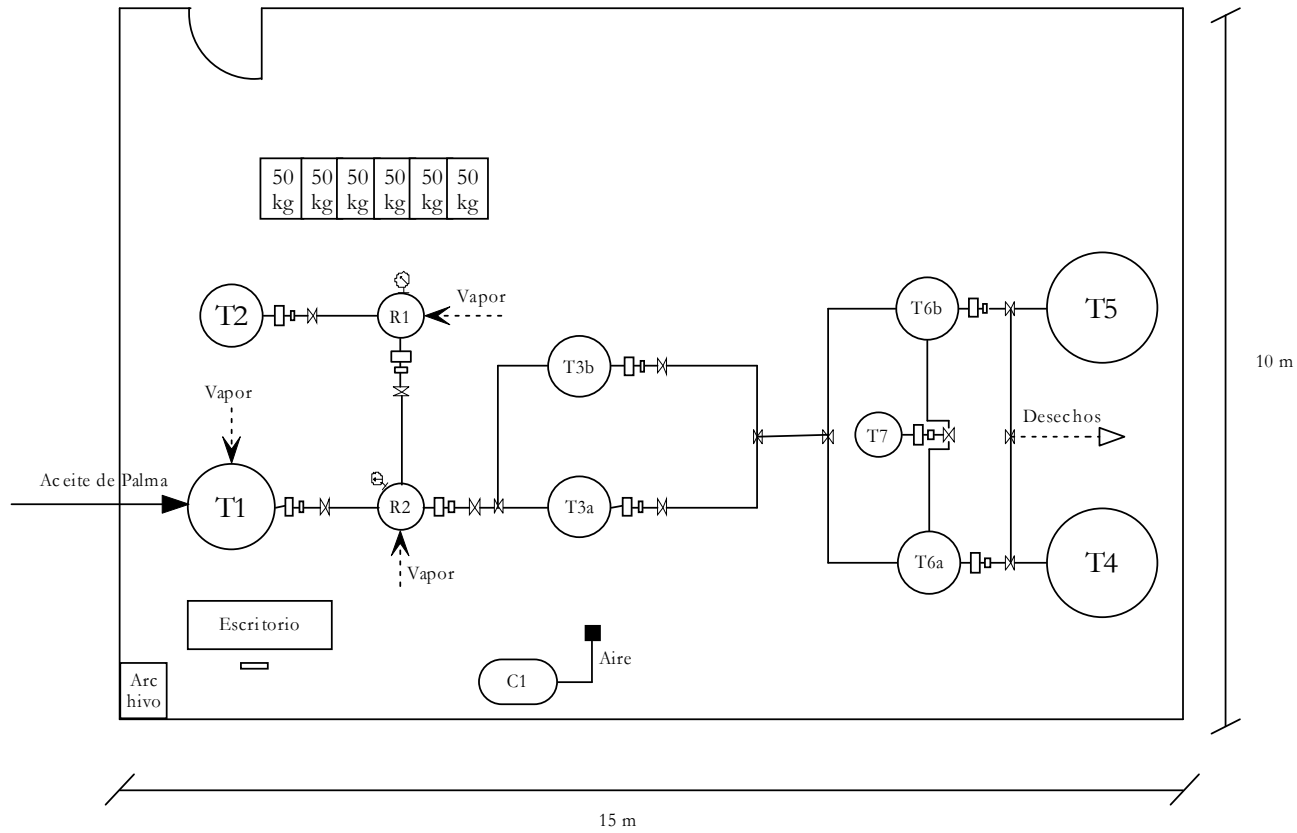
- Reactores
- Tanque de alimentación
- Tanque de almacenamiento
- Tanque de decantación

C. Materia prima y reactivos

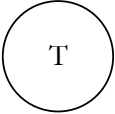





- Aceite de palma africana
- Metanol
- Ácido Clorhídrico
- Hidróxido de sodio

VII. RESULTADOS

Gráfico #2: Layout de la planta de biodiesel



Cuadro #10: Resumen del Layout

Equipo	Dibujo
Tanque	
Reactor	
Bomba neumática	
Válvulas	
Termómetro o Manómetro	
Costales de 50Kg	

Caracterización del equipo

Cuadro #11: Características del equipo diseñado

	Tanque de Metanol	Tanque de Metóxido	Reactor biodiesel	Decantador
Capacidad (L)	450.0000	450.0000	450.0000	750.0000
Altura (m)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Diámetro (m)	0.7569	0.6555	0.6555	0.8463
Espesor (m)	0.00635	0.00635	0.00635	0.00635
Tipo	Cilíndrico	Cilindro Cónico	Cilindro Cónico	Cilindro Cónico
Material	Acero Inoxidable	Plástico	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Precio	Q15,000.00	Q15,000.00	15,000.0000	Q18,000.0000

Cuadro #12: Continuación de características del equipo diseñado

	Decantador de lavado	Tanque de agua	Tanque de aceite	Tanque biodiesel	Tanque Glicerol
Capacidad (L)	850.0000	450.0000	2500.000	11000.000	6819.000
Altura (m)	1.0000	1.0000	1.9000	5.4864	2.7432
Diámetro (m)	0.9009	0.6555	1.2200	1.6256	1.6256
Espesor (m)	0.00635	0.00635	0.0047	0.0047	0.0047
Tipo	Cilíndrico	Cilindro Cónico	Cilíndrico	Cilíndrico	Cilíndrico
Material	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable	Acero Inoxidable
Precio	Q20,000.00	Q15,000.00	Q45,944.34	Q167,866.00	Q83,933.00

Cuadro #13: Tasa Interna de Retorno y Valor Anual Neto para el proyecto de elaboración de biodiesel para los diferentes estudios

	Estudio A	Estudio B	Estudio C	Estudio D
TIR	40%	65%	58%	82%
VAN	Q 2,050,800.25	Q 4,768,184.71	Q 3,942,651.40	Q 6,660,035.83

Cuadro #14: Costos de biodiesel para el proceso para los diferentes estudios

	Estudio A	Estudio B	Estudio C	Estudio D
Costo biodiesel	Q 22.61	Q 17.78	Q 19.25	Q 14.41

Cuadro #15: Ahorro por la utilización de biodiesel para el proceso para los diferentes estudios

	Estudio A	Estudio B	Estudio C	Estudio D
Ahorro	Q 471,342.01	Q 624,736.60	Q 578,135.78	Q 731,530.37

Donde:

Estudio A: Aceite de Palma de Reproceso con vapor de caldera tipo Bunker
Estudio B: Aceite de Palma de Reproceso con vapor de caldera tipo biomasa
Estudio C: Aceite de Palma Caducado con vapor de caldera tipo Bunker
Estudio D: Aceite de Palma Caducado con vapor de caldera tipo biomasa

VIII. DISCUSIÓN

En este trabajo se diseñó y se evaluó la factibilidad de una planta de biodiesel utilizando aceite de Palma de Reproceso o Caducado mediante el proceso de transesterificación.

Para el diseño se obtuvieron datos de la industria Olmeca S.A. para el consumo mensual de diesel que tiene la planta, el cual es aproximadamente de 20,000 galones mensuales, por lo que tomando de base que se tiene una mejor mezcla de diesel biodiesel con un 85:15 (Romero, 2005) se dimensionó una planta de biodiesel capaz de suministrar esta cantidad más un 60% más de Biodiesel para la venta del mismo, así como un posible uso a toda la corporación a la cual Olmeca pertenece. Por lo cual se dimensionó para una capacidad total de biodiesel de 6600 galones mensuales lo cual equivale a 44000 galones de diesel al mes.

El diseño de la planta consta de cuatro tanques, lo cual se dividen en dos de almacenamiento de materia prima (aceite de Palma Africana de Reproceso o Caducada) y dos de almacenamiento de producto final (Glicerol y biodiesel); dos reactores, uno de producción de Metóxido de Sodio y el otro de fabricación de biodiesel; dos decantadores que hacen la separación de productos final los cuales son Glicerol y biodiesel y un espacio capaz de almacenar sacos de 50 Kg de Hidróxido de Sodio.

Las dimensiones de los tanques se hicieron mediante las ecuaciones de volumen de un cilindro y de un cilindro cónico, En donde los tanques de almacenamiento se diseñaron de forma cilíndrica mientras que los reactores y los decantadores se dimensionaron de forma cilíndrica cónica debido a que es más fácil que el fluido se deslice debido a que conforme el proceso la viscosidad de los productos aumentan.

El tanque de almacenamiento de aceite de Palma de Reproceso o Caducado se diseño para una capacidad de 2,500 L ya que no era necesario el dimensionarlo de un volumen más grande debido a que esa materia prima se tiene a disposición en cualquier momento en la fábrica por lo cual de ser necesario la utilización de más aceite de Palma ya sea de Reproceso o Caducado sólo se bombea hacia el tanque de almacenamiento que esta ubicado dentro del área de producción de biodiesel. Debido a el volumen del tanque se tomaron en cuenta las normas API el cual directamente nos proporciona la altura así como el diámetro y espesor del tanque, el cual se tomo como material acero inoxidable.

El tanque de almacenamiento de Metanol se diseño con una capacidad de 450 L con lo cual éste es capaz de enviar Metanol para 8 Batch que son exactamente para dos días de producción. Esto debido a que el metanol no puede ser almacenado más de 30 días por lo que se le pedirá al proveedor el envío de esta materia prima cada quince días. Además es posible que haya meses en los cuales se deba de producir menos por lo que esto influye en el dimensionamiento de este tanque como el de los demás.

El reactor de Metóxido así como el de biodiesel se dimensionó de la misma capacidad la cual es de 450 L con lo cual corresponden al mismo dimensionamiento, sólo difiere del material de cada uno de

ellos. Ambos reactores contienen un agitador capaz de 1500 rpm max. para mezclar los 300 L de contenido que tendrán ambos reactores, así como las temperaturas que estas van a manejar. El reactor de Metóxido tendrá un tiempo de mezclado de 10 minutos lo cual es un tiempo suficiente para tener una mezcla homogénea de este producto. En donde el Hidróxido de Sodio se ira agregando por el operario de forma manual debido a que el costo del mismo es mas económico de forma solida que de forma liquida.

El reactor de Metóxido será de plástico debido a que este es altamente corrosivo por lo que no es muy recomendable tenerlo en un tanque de acero inoxidable cuando el plástico así como el acero inoxidable no sufre de corrosión y es más fácil darle un mantenimiento a este tanque.

Los decantadores fueron dimensionados capaces de soportar 2 Batches provenientes del reactor. Éste se dimensionó para 750 L, los cuales tendrán un tiempo de residencia de 12 horas por decantador debido a que se requiere de la mayor separación posible de compuestos, y ésta sólo se logra con un mayor tiempo de decantación.

Los tanques decantadores de lavado de biodiesel tienen una capacidad de 850 L, con lo cual este al igual que los tanques de decantación soporta 2 Batches ya sea de biodiesel o de glicerina proveniente de los decantadores. Se tiene un tanque de agua el cual suministrará el agua para el lavado de biodiesel y glicerina, éste tiene una capacidad de 450 L el cual tiene capacidad para suministra el agua a los dos decantadores de lavado. En el caso del biodiesel el lavado servirá para separar los jabones que existan así como cualquier impureza en él.

Los tanques del lavado se utilizan para lavar la glicerina obtenida como subproducto, esto con el fin de obtener un producto más pura, debido a que entre más puro sea, más fácil es la venta de la misma ya que se pretende la venta de éste a jaboneras y farmacéuticas; ya las farmacéuticas tienen parámetros sobre este producto por lo que se tratará de ofrecer la mejor calidad de glicerina hacia estas empresas. Este proceso de separación para ambos decantadores consta de 1 hora de decantación para tener una buena separación de producto.

El tanque de almacenamiento de biodiesel almacena 11000 L, lo cual equivale a tener un tiempo de almacenamiento de aproximadamente ocho días. De éste se tomaron en cuenta debido al volumen valores de tanques mediante regulación ASTM, de acero inoxidable. El tanque de almacenamiento del glicerol fue dimensionado igual que el del biodiesel bajo normas API solo que a su volumen respectivo que corresponde a 6,819 L.

El diseño de la planta se hizo ocupando el espacio menor posible y posicionando todos los equipo de forma que en caso de alguna falla de equipo sea fácil el mantenimiento del mismo. La dimensión de la planta será de 15m x 9 m, en donde se tiene contemplado la automatización del equipo en el cual se cuentan con válvulas neumáticas las cuales serán controladas por la computadora central.

La tubería utilizada para el envío de producto como de materia prima será de $\frac{3}{4}$ de pulgada de CPVC la cual es capaz de soportar altas temperaturas, hasta 125°C , de lo cual en el proceso se manejar temperaturas hasta de 90°C , por lo que se esta en el rango de temperatura que aguanta la tubería, al mismo tiempo esta tubería soporta cualquier tipo de fluido. El diámetro de tubería es pequeño debido a que no se enviará mucho caudal a través de ella. La distancia total de la tubería para la planta es de 35.4 m, al cual se le agregarán válvulas solenoides, uniones y codos. Para tener un mantenimiento adecuado a las tuberías habrá uniones cada 1 m de distancia para hacer un fácil desmontaje para darle mantenimiento en caso de ser necesario.

Las bombas a utilizar en el proceso son neumáticas y de polietileno. Se escogieron neumáticas debido a los flujos que se van a manejar dentro del proceso. Para el funcionamiento de estas bombas es necesario de un compresor de aire de 2 HP, el cual suministrará el aire necesario para la utilización de cuatro bombas. Para el proceso se necesitarán seis bombas, pero debido a que no se necesitan utilizarse todas al mismo tiempo, solamente se utilizarán a lo máximo cuatro bombas al mismo tiempo por ello se cotizó un compresor para esta capacidad.

Las válvulas que se utilizarán en el proceso son solenoides, las cuales funcionan de forma neumáticas las cuales serán controladas por el programa de automatización. Habrá de dos tipos de válvulas unas compuerta y otras de forma de Y; las de compuerta se utilizarán para el paso directo del fluido y los de forma de Y servirán para determinar el lugar de envío del fluido. Esto es porque se necesita desviar el fluido para que este sea suministrado a su tanque respectivo.

Se hizo un análisis de factibilidad para el montaje de este proyecto que se ubicara dentro de las instalaciones de la planta de Aceites Olmeca S.A. Para ello se determinó el costo de biodiesel por cuatro proceso diferentes.

El primero consiste en utilizar aceite de Reproceso y vapor de caldera Bunker, el segundo consiste en utilizar aceite de Reproceso y vapor de caldera de biomasa, el tercero en utilizar aceite Caducado y vapor de caldera Bunker y el último en utilizar aceite Caducado y vapor de caldera de biomasa. Para todos estos procesos se determinaron los costos de biodiesel con la cantidad de biodiesel producido y los costos que éstas requieren. Para cada uno de los procesos se determinaron los precios costo del biodiesel por galón, los cuales son Q22.61, Q17.78, Q19.25 y Q14.41.

Se debe recalcar que los precios varían demasiado debido al costo de la producción de vapor que se requiere para cada tipo de caldera. Para la caldera tipo Bunker el costo del combustible es de Q 15 por galón mientras que el costo de combustible para la caldera de biomasa es de Q 2 por kilogramo. Con estos valores se determinó el costo por kilogramo de vapor el cual para la caldera de Bunker es de Q 0.2201 y para la caldera de biomasa es de Q 0.0294.

Con el costo de kilogramo de vapor de Caldera se determinó el costo total para producir la cantidad de vapor necesario para el proceso, lo cual consta de producir 168,776 Kg de vapor al año. Los costos para producir esta cantidad de vapor al año son de Q445,771.69 por la caldera tipo Bunker y de Q 59,442.98 por la caldera tipo biomasa. Es notable el cambio de costos debido a los precios costo por kg de vapor.

También se determinaron los costos de consumo eléctrico, para lo cual sólo se tienen tres componentes eléctricos los cuales son los agitadores, el panel de control de automatización y el compresor de aire para el funcionamiento de las bombas. Utilizando un costo de Q 1.1 por KW se determinó el costo anual de electricidad el cual fue de Q 34,071.84.

Se cotizaron materias primas las cuales consisten en el Metanol, el Hidróxido de Sodio y el aceite de Palma de forma de Reproceso así como la Caducada. El precio del Metanol es de Q 1815.00 por los 55 galones, el del Hidróxido de Sodio es de Q 210.00 por cada 25 Kg. Los precios del aceite de Palma de Reproceso y Caducado fueron proporcionados por Industria Olmeca S.A. los cuales fueron precios costos aproximados los cuales son para el aceite de Reproceso Q3.50 el galón y de Q 0.50 el aceite Caducado. Con estos se determinó el precio costo para las materias prima utilizando aceite de Palma de Reproceso el cual es de Q 812,332.80 anuales, y para el aceite de Palma Caducado se tiene un costo de Q 543,369.60. De aquí se puede observar que debido a esta diferencia de precios es más barato la utilización de aceite de Palma Caducado para el proceso de producción de biodiesel.

Se determinó el precio para los utilitarios los cuales se determinaron mediante el tabal de Perry adjunta a este trabajo (gráfico #9) con los cuales se determinó un precio de Q 55,500.00 en donde se tiene contemplado el almacenamiento de la materia prima así como el del producto terminado, distribución eléctrica y comunicaciones. Así mismo se calculó el costo de equipo (cuadro # 36) en donde se determinó un costo de Q 723,837.14 en donde algunos precios están incluidos en las cotizaciones en la sección de anexos.

Se hizo la cotización de la construcción de la planta en la cual se tomó en cuenta la iluminación, la mano de obra, la estructura de acuerdo a la dimensión que se va a construir. La dimensión de la planta son de 15 x 10 metros en donde es suficiente espacio para la cantidad de equipos a utilizar, incluso el área está sobredimensionada por cualquier ampliación que sea necesaria de realizar.

Se finaliza con el flujo de caja en donde se utilizaron valores de impuesto de un 31%, un porcentaje de inflación anual del 13%, una tasa de crecimiento del 2% anual y se hizo a un periodo de duración de diez años.

En donde se obtuvieron diferentes Tasas Internas de Retorno (TIR) así con el Valor Actual Neto (VAN) para los 4 tipos de procesos que se pueden implementar en la planta. Los cuales son de un 40% y Q 2,050,800.25 para el proceso de aceite de Palma de Reproceso utilizando una caldera tipo Bunker, un

65% y Q 4,768,184.71 para el proceso de aceite de Palma de Reproceso utilizando una caldera tipo biomasa, un 58% y Q 3,942,651.40 para el proceso de aceite de Palma Caducado utilizando una caldera tipo Bunker y 82% y Q 6,660,035.83 para el proceso de aceite de Palma Caducado utilizando una caldera tipo biomasa.

Se comparan los valores de la TIR y VAN para cada proyecto, y sabiendo que entre más alto sea el Valor Actual Neto más rentable es el proyecto, al igual que el valor de la Tasa Interna de Retorno, se puede observar que utilizando el vapor de la caldera de biomasa y aceite de Palma Caducado es donde se obtiene un mejor valor. Por lo que se recomienda fabricar biodiesel mediante el proceso de aceite de Palma Caducado y utilizando caldera de biomasa. Se debe tomar en cuenta que para ello se propuso un precio de venta de biodiesel de Q 22.00 el galón para cualquier comprador fuera de la empresa o fuera de corporación. Se escogió este precio ya que es un valor que va por debajo al precio actual de diesel, por lo que el consumidor estaría dispuesto a pagar, en un futuro, ya que como se sabe el precio del combustible conforme los años tiene una tendencia lineal respecto a su valor.

IX. CONCLUSIONES

1. La TIR y la VAN para la elaboración de biodiesel mediante aceite de Palma Reprocesado utilizando una caldera de Bunker son 40% y Q 2,050,800.25 con un Tiempo de Retorno de inversión menor a tres años, utilizando una caldera de biomasa son 65% y Q 4,768,184.71 respectivamente, con un Tiempo de Retorno de un año.
2. La TIR y la VAN para la elaboración de biodiesel mediante aceite de Palma Caducado utilizando una caldera de Bunker son 58% y Q 3,942,651.40 con un Tiempo de Retorno de inversión menor a dos años, y utilizando una caldera de biomasa son 82% y Q6,660,035.83, con un Tiempo de Retorno de un año.
3. El costo de biodiesel mediante aceite de Palma Reprocesado utilizando una caldera de Bunker es de Q22.61, y utilizando una caldera de biomasa es de Q17.78.
4. El costo de biodiesel mediante Aceite de Palma Caducada utilizando una Caldera de Bunker es de Q19.25, y utilizando una Caldera de Biomasa es de Q14.41.
5. El tanque de Metanol contiene las siguientes dimensiones: altura 1 m, diámetro 0.7569 m y espesor 0.00635 m.
6. El reactor de Metóxido contiene las siguientes dimensiones: altura 1 m, diámetro 0.6555 m y espesor 0.00635 m.
7. El reactor de biodiesel contiene las siguientes dimensiones: altura 1 m, diámetro 0.6555 m y espesor 0.00635 m.
8. El decantador contiene las siguientes dimensiones: altura 1 m, diámetro 0.8463 m y espesor 0.00635 m.

X. RECOMENDACIONES

Debido a la alta evolución de tecnología en biocombustibles, se recomienda mantenerse al tanto de nuevas tecnologías que permitan la optimización del proceso.

Se recomienda caracterizar los residuos industriales del agua de lavado de biodiesel para darles el tratamiento correspondiente.

Se recomienda tomar en cuenta el aumento de la capacidad de los tanque de glicerol debido a que estos están hechos con una capacidad para almacenar por quince días el producto, por lo que se debe tener un comprador de glicerol capaz de adquirir el almacenaje antes de que este llegue a su llenado, por lo que de no conseguir un comprador se debe aumentar el tamaño del tanque o agregar otro para no tener saturado el tanque de almacenamiento.

XI. BIBLIOGRAFÍA

- Blank Leland (2002), *Ingeniería Económica*. 5ta edición, Mc Graw Hill, Mexico
- Blanco R.G., G.E. Chavarría y C.L. Salazar (2004). *Obtención de biodiesel a partir de aceites vegetales*. Trabajo de tesis para optar al grado de Ingeniero Químico en la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. San Salvador. El Salvador.
- Budavari, S. (1996). *The Index Merck*, 13ava. ed., Merck e Co., Inc. Rahaway, New Jersey, 1996, Estados Unidos
- Estructuplan (2005). *Hojas de seguridad de sustancias peligrosas*. <http://www.estrucplan.com.ar/Secciones/Hojas>.
- Knothe Gerhard, Van Gerpen Jon, and Krahl Jürgen (2005). *The Biodiesel Handbook*, 2005. Estados Unidos.
- Herrera M., Tejada R. y Ramírez C. (2004). *Obtención de vitamina C a partir de suero láctico*. Trabajo de Diseño de plantas químicas en Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”. San Salvador.
- Romero Herbert (2005). *Elaboración, análisis y comparación de Biodiesel a partir de Aceite de Palma Usado, mediante dos procesos a nivel de planta piloto*. Trabajo de tesis para optar al grado de Ingeniero Químico en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Perry Robert, Green Don (1999), *Perry's Chemical Engineers Handbook*, 7ma edición, Mc Graw Hill, Estados Unidos.
- US department of Energy (2004). Documento: *Biodiesel, handling and use guidelines*. <http://www.osti.gov/bridge>, Estados Unidos.
- Van Germen J., B. Shanks y R. Pruszko (2004). Documento: *Biodiesel Production Technology of Nacional Renewable Energy Laboratory*. <http://www.osti.gov/bridge>, Estados Unidos.

XII. APÉNDICE

Cálculos de muestra

Masa de materia prima

Se calcularon las masas correspondientes para cada materia prima a utilizar en el proceso, mediante la siguiente ecuación

$$m = V \times \rho \text{ (ecuación \#1)}$$

- Para Aceite a un volumen de 300L tenemos que

$$m = (300L) \times \left(\frac{1m^3}{1000L} \right) \times \left(930 \frac{kg}{m^3} \right) = 279kg$$

- Para Metanol a un volumen de 45L tenemos que

$$m = (45L) \times \left(\frac{1m^3}{1000L} \right) \times \left(810 \frac{kg}{m^3} \right) = 36.45kg$$

Materia prima

Se determinó la cantidad de materia prima para la producción de biodiesel necesario para una mezcla 85:15 para 44000 galones de diesel mensual

Para una mezcla 85:15 se tiene que

$$\text{Biodiesel necesario} = \text{Diesel} \times 15\% \text{ (ecuación \#2)}$$

En donde

$$\text{Biodiesel necesario} = 44000 \frac{\text{gal}}{\text{mes}} \times \frac{4.546 \text{ L}}{1 \text{ gal}} \times 0.15$$

$$\text{Biodiesel necesario} = 30003.6 \text{ litros mensual}$$

Balances de masa

Se determinó el balance de masa para del proceso, mediante la siguiente ecuación

$$\text{Aceite} + \text{Metanol} + \text{Hidróxido de Sodio} = \text{Biodiesel} + \text{Glicerina} \text{ (ecuación \#3)}$$

Para la producción de un Batch de biodiesel se tiene

$$279Kg \text{ Aceite De Palma} + 36.45Kg \text{ Me tan ol} + 2.1Kg \text{ Hidróxido De Sodio} = 317.55Kg \text{ Biodiesel, Glicerina}$$

Sabiendo que se tiene un rendimiento de mezcla del 73%, se tiene que

$$317.55\text{Kg Biodiesel, Glicerina} \times 0.73 = 224.76\text{Kg Biodiesel}$$

$$317.55\text{Kg Biodiesel, Glicerina} \times 0.27 = 85.23\text{Kg Glicerina}$$

Se determino la cantidad de masa de vapor a utilizar por la caldera para el proceso mediante la siguiente ecuación general

$$Q_{\text{proceso}} = Q_{\text{caldera}} \quad (\text{ecuación \#4})$$

$$\sum m_i c_{p_i} \Delta T = m_{\text{vapor}} H_{\text{vapor}} \quad (\text{ecuación \#5})$$

$$m_{\text{vapor}} = \frac{\sum m_i c_{p_i} \Delta T}{H_{\text{vapor}}} \quad (\text{ecuación \#6})$$

Para el calentamiento de aceite se tiene

$$m_1 = \frac{(279\text{Kg}) \times \left(39.28 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \times (60^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C})}{2782\text{KJ}} = 114.9766\text{Kg}$$

Para el calentamiento del reactor de Metóxido se tiene

$$m_2 = \frac{\left[(36.45\text{Kg}) \times \left(2.533 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \times (40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right] + \left[(2.1\text{Kg}) \times \left(1.465 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \times (40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) \right]}{2782\text{KJ}} = 0.5144\text{Kg}$$

Para el calentamiento de reactor de biodiesel se tiene

$$m_3 = \frac{\left[(271.44\text{Kg}) \times \left(39.28 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \times (90^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}) \right] + \left[(36.45\text{Kg}) \times \left(2.533 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \times (90^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) \right] + \left[(2.1\text{Kg}) \times \left(1.465 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}}\right) \times (90^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) \right]}{2782\text{KJ}}$$

$$m_3 = 116.6913\text{Kg}$$

Totalidad de masa de vapor necesaria para todo el proceso

$$m_{\text{Total}} = m_1 + m_2 + m_3 \quad (\text{ecuación \#7})$$

$$m_{\text{Total}} = 114.9766\text{Kg} + 0.5144\text{Kg} + 116.6913\text{Kg}$$

$$m_{\text{Total}} = 232.1823\text{Kg}$$

Balance de energía

Se determinó el balance de energía mediante la siguiente ecuación

$$Q_{\text{TotalAceite}} + Q_{\text{TotalMetanol}} + Q_{\text{TotalHidroxidodeSodio}} = Q_{\text{TotalCaldera}} \quad (\text{ecuación \#8})$$

$$\left(m_{\text{Aceite}} \times cP_{\text{Aceite}} \times \Delta T_{\text{Aceite}} \right) + \left(m_{\text{Metanol}} \times cP_{\text{Metanol}} \times \Delta T_{\text{Metanol}} \right) + \left(m_{\text{HidroxidoDeSodio}} \times cP_{\text{HidroxidoDeSodio}} \times \Delta T_{\text{HidroxidoDeSodio}} \right) = Q_{\text{Caldera}} \quad (\text{ecuación \#9})$$

En donde

$$Q_{\text{TotalCaldera}} = \left[(271.44 \text{Kg}) \times \left(39.28 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right) \times ((60^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}) + (90^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C})) \right] +$$

$$\left[(36.45 \text{Kg}) \times \left(2.533 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right) \times ((40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) + (90^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})) \right] +$$

$$\left[(2.1 \text{Kg}) \times \left(1.465 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \right) \times ((40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) + (90^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C})) \right]$$

$$Q_{\text{TotalCaldera}} = 645931.1266 \text{KJ}$$

Dimensionamiento de tanques y reactores para el proceso

Para el dimensionamiento de los tanques se utilizaron las siguientes formulas

Volumen de un cilindro

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (\text{ecuación \#10})$$

Volumen de un cilindro con base cónica

$$V = \frac{4 \times (\pi \times r^2 \times h)}{3} \quad (\text{ecuación \#11})$$

Donde se determino el radio de los tanques mediante alturas establecidas

- Para el tanque de almacenamiento de Metanol para una capacidad de 250L se tiene que

$$V = \pi \times r^2 \times h$$

Utilizando una altura de 1m tenemos que el diámetro es de

$$r = \sqrt{\frac{V}{\pi \times h}} = \sqrt{\frac{0.25 \text{m}^3}{\pi \times 1}} = 0.3784 \text{m}$$

$$d = 2r = 2 \times 0.3784 \text{m} = 0.7569 \text{m}$$

- Para el reactor de Metóxido para una capacidad de 450L se tiene que

$$V = \frac{4 \times (\pi \times r^2 \times h)}{3}$$

Utilizando una altura de 1m tenemos que el diámetro es de

$$r = \sqrt{\frac{3 \times V}{4 \times \pi \times h}} = \sqrt{\frac{3 \times 0.45m^3}{\pi \times 1}} = 0.3278m$$

$$d = 2r = 2 \times 0.3278m = 0.6555m$$

- Para el reactor de Biodiesel para una capacidad de 450L se tiene que

$$V = \frac{4 \times (\pi \times r^2 \times h)}{3}$$

Utilizando una altura de 1m tenemos que el diámetro es de

$$r = \sqrt{\frac{3 \times V}{4 \times \pi \times h}} = \sqrt{\frac{3 \times 0.45m^3}{\pi \times 1}} = 0.3278m$$

$$d = 2r = 2 \times 0.3278m = 0.6555m$$

- Para los decantadores de biodiesel para una capacidad de 750L se tiene que

$$V = \frac{4 \times (\pi \times r^2 \times h)}{3}$$

Utilizando una altura de 1m tenemos que el diámetro es de

$$r = \sqrt{\frac{3 \times V}{4 \times \pi \times h}} = \sqrt{\frac{3 \times 0.75m^3}{\pi \times 1}} = 0.4231m$$

$$d = 2r = 2 \times 0.4231m = 0.8463m$$

Tiempo de operación por Batch

Se determinó el tiempo total de operación por batch sumando los tiempos de retención en cada parte del proceso y el tiempo de envío de un tanque hacia otro.

- Tiempo de retención en reactor de Metóxido 10 minutos (T_{r1})
- Tiempo de retención en reactor de biodiesel 60 minutos (T_{r2})
- Tiempo de retención en decantador de biodiesel 720 minutos (T_{r3})
- Tiempo de envío del tanque de aceite de Palma al reactor de biodiesel (T_{e1})
- Tiempo de envío del tanque de Metanol al reactor de Metóxido (T_{e2})

- Tiempo de envío del reactor de Metóxido al reactor de biodiesel (T_{e3})
- Tiempo de envío del reactor de biodiesel al decantador de biodiesel (T_{e4})
- Tiempo de envío del decantador de biodiesel al tanque de almacenamiento de biodiesel (T_{e5})
- Tiempo de envío del decantador de biodiesel al tanque de almacenamiento de Glicerol (T_{e6})

Sumando todos los tiempos de retención y los tiempos de envío tenemos un tiempo de operación por batch siguiente

$$\text{Tiempo de operacion} = T_{r1} + T_{r2} + T_{r3} + T_{e1} + T_{e2} + T_{e3} + T_{e4} + T_{e5} + T_{e6}$$

$$\text{Tiempo de operacion} = 10 \text{ min} + 60 \text{ min} + 720 \text{ min} + 13.2 \text{ min} + 2 \text{ min} + 2 \text{ min} + 15.18 \text{ min} + 3.57 + 1.32 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de operacion} = 827.7 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo de operacion} = 13.79 \text{ horas}$$

Costo de vapor

Costo de vapor producido anual por la caldera bunker de la planta de Olmecca

$$\text{Costo de vapor} = \left(\frac{(\text{Consumo de Bunker al mes} \times \text{Precio de Bunker})}{\text{Masa de Vapor consumido al año}} \right) \text{ (ecuación \#12)}$$

En donde

$$\text{Costo de vapor} = \left(\frac{\left(4645 \frac{\text{gal}}{\text{dia}} \times \frac{30 \text{ dia}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{1 \text{ año}} \times \frac{15 \text{ Q}}{1 \text{ gal}} \right)}{29013 \frac{\text{lb vapor}}{\text{hora}} \times \frac{24 \text{ hora}}{1 \text{ dia}} \times \frac{30 \text{ dia}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ mes}}{1 \text{ año}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{2.2046 \text{ lb vapor}}} \right) = 0.2201 \frac{\text{Q}}{\text{Kg}}$$

Datos calculados

Cuadro #16: Balance de de masa de vapor para el tanque de aceite de Palma

Balance de masa de vapor del tanque aceite Vegetal por Batch					
Q aceite			=	Q caldera	
m (kg)	cp (KJ/kg)	T (°C)	=	m (Kg)	H
271.44	39.28	30	=	114.976598	2782

Cuadro #17: Balance de masa de vapor para el reactor de Metóxido de Sodio

Balance de masa de vapor del reactor de Metóxido por Batch									
Q metanol			+	Q soda			=	Q caldera	
m (Kg)	cp (KJ/Kg)	T (°C)	+	m (Kg)	cp (KJ/Kg)	T (°C)	=	m (Kg)	H (KJ)
36.45	2.533	15	+	2.1	1.46538	15	=	0.5144	2782

Cuadro #18: Balance de masa de vapor para el reactor de biodiesel

Balance de masa del vapor del reactor de biodiesel por Batch													
Q metanol			+	Q soda			+	Q aceite			=	Q caldera	
m (Kg)	cp (KJ/Kg)	T (°C)	+	m (Kg)	cp (KJ/Kg)	T (°C)	+	m (Kg)	cp (KJ/Kg)	T (°C)	=	m (Kg)	H (KJ)
36.45	2.533	50	+	2.1	1.46538	50	+	271.44	39.28	30	=	116.6913	2782

Cuadro #19: Balance de masa para el reactor de biodiesel

Balance de masa del reactor de biodiesel por Batch				
masa de aceite entrante (Kg)	masa de metanol entrante (Kg)	masa de soda entrante (Kg)	=	masa de biodiesel y glicerol (Kg)
271.44	36.45	2.1	=	309.99

Cuadro #20: Balance de masa para el decantador de biodiesel y Glicerol

Balance de masa en la decantación			
masa de reactor (Kg)	=	masa de biodiesel (Kg)	masa de glicerol (Kg)
309.99	=	224.76	85.23

Cuadro #21: Balance de energía para el reactor de Biodiesel

Balance de energía para el reactor de biodiesel por Batch				
Q Aceite entrante (KJ)	Q Metanol entrante (KJ)	Q Soda entrante (KJ)	=	Q Caldera (KJ)
639,729.792	6,001.31025	200.02437	=	645,931.1266

Cuadro #22: Accesorios del diseño de la planta de biodiesel

Accesorios / Tubería	Longitud de tubería (cm)	Altura de tubería (cm)	# Codos	# Uniones	# Válvulas Solenoides en forma de Y	# Válvulas Solenoide de Compuerta
T2 a R1	160	80	3	1	0	1
T1 a R2	140	80	3	1	0	1
R1 a R4	200	80	3	1	0	1
R2 a T3a	150	80	3	1	1	1
R2 a T3b	330	80	3	3		
T3a a válvula T	290	0	1	2	1	1
T3b a válvula T	290	0	1	2		
válvula T a válvula T2	120	0	0	1	1	0
válvula T2 a T6a	300	80	2	2	0	0
válvula T2 a T6b	300	80	2	2	0	0
T6 a T4	100	80	3	0	0	1
T6 a T5	100	80	3	0	0	1
T7 a T6a	100	80	3	0	0	1
T7 a T6b	100	80	3	0	0	
válvula T3a a válvula T4	200	0	0	1	1	1
válvula Tba a válvula T4	200	0	0	1		1
Total	3080	880	33	18	4	10

Cuadro #23: Formulación para producir 1 Batch de biodiesel

Formulación para producir biodiesel (1 Batch)			
	Peso kg	Volumen L	Volumen gal
Metanol	-----	45.0000	9.9000
Hidróxido	2.1	0.0020	0.0004
Tanque de Metóxido	-----	45.0020	9.9004
Aceite	-----	300.0000	66.0000
Reactor	-----	345.0020	75.9004
Biodiesel	-----	251.8515	55.4073
Glicerina	-----	93.1505	20.4931

Cuadro #24: Tiempos de operación para un Batch de producción

	Tiempo operación por Batch (min)	Tiempo operación por Batch (h)
Tanque de aceite de Palma	0	0.00
Envío a reactor de biodiesel	13.2	0.22
Tanque de Metanol	0	0.00
Envío a reactor de Metóxido	2	0.03
Reactor Metóxido	10	0.17
Envío a reactor de biodiesel	2	0.03
Reactor biodiesel	60	1.00
Envío a decantador	15.18	0.25
Decantador biodiesel	720	12.00
Envío a tanque de almacenamiento de biodiesel	3.57	0.06
Envío a tanque de almacenamiento de Glicerol	1.32	0.02
Tanque almacenamiento biodiesel	0	0.00
Tanque almacenamiento Glicerol	0	0.00
TOTAL	827.27	13.79

Estudio de factibilidad

Cuadro #25: Equipos a utilizar para la elaboración de biodiesel

Equipo					
Numero		Cantidad	Precio unitario	Costo mano de obra	Costo
1	Tanque de almacenamiento de aceite de Palma (2500 L)	1	Q45,994.34	Incluida	Q45,994.34
2	Tanque de almacenamiento de Metanol (450 L)	1	Q15,000.00	Incluida	Q15,000.00
3	Reactor Metóxido (450 L)	1	Q5,000.00	Incluida	Q5,000.00
4	Agitador para reactor Metóxido	1	Q2,000.00	Incluida	Q2,000.00
5	Reactor biodiesel (450 L)	1	Q15,000.00	Incluida	Q15,000.00
6	Agitador para reactor biodiesel	1	Q2,000.00	Incluida	Q2,000.00
7	Decantador 1 (750 L)	1	Q18,000.00	Incluida	Q18,000.00
8	Decantador 2 (750 L)	1	Q18,000.00	Incluida	Q18,000.00
9	Tanque de agua para lavado (450 L)	1	Q15,000.00	Incluida	Q15,000.00
10	Decantador de lavado (850 L)	2	Q20,000.00	Incluida	Q40,000.00
11	Tanque de almacenamiento de Glicerol (6819 L)	1	Q83,933.00	Incluida	Q83,933.00
12	Tanque de almacenamiento de biodiesel (11000 L)	1	Q167,866.00	Incluida	Q167,866.00
13	Bomba neumática (5GPM)	5	Q3,500.00	Q2,450.00	Q17,500.00
14	Bomba neumática (15.5 GPM)	4	Q5,500.00	Q3,850.00	Q22,000.00
15	Tubería de 1m CPVC 3/4 pulgadas	40	Q3.84	Q7.68	Q153.60
16	Codos	33	Q9.80	Q16.17	Q323.40
17	Uniones	18	Q5.50	Q4.95	Q99.00

18	Válvulas Solenoide en forma de Y (110V)	4	Q2,400.00	Q480.00	Q9,600.00
19	Válvulas Solenoide de compuerta (110V)	10	Q1,858.00	Q929.00	Q18,580.00
20	Compresor de aire	1	Q10,000.00	Q7,000.00	Q10,000.00
21	Panel de control de automatización	1	Q77,500.00	Q34,875.00	Q77,500.00
22	Medidor de flujo	6	Q5,425.00		Q32,550.00
23	Posicionador neumático	7	Q6,200.00		Q43,400.00
24	Medidor de presión	1	Q6,975.00		Q6,975.00
25	Medidor de temperatura	2	Q3,875.00		Q7,750.00

Costo total	Q723,837.14
-------------	-------------

Cuadro #26: Mobiliario de la planta de biodiesel

ÁREA	EQUIPO	COSTO ANUAL/INVERSIÓN INICIAL	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD	COSTO
Bodega de producto terminado	Equipo de seguridad (lentes, respiradores, guantes, etc.)	Costo anual	1	Q 2,500.00	Q 2,500.00
	Escritorio	Inversión inicial	1	Q 500.00	Q 500.00
	Silla	Inversión inicial	1	Q 200.00	Q 200.00
	Basurero	Inversión inicial	1	Q 40.00	Q 40.00
	Archivo	Inversión inicial	1	Q 300.00	Q 300.00
	Extintor	Inversión inicial	1	Q 400.00	Q 400.00
	Escalera	Inversión inicial	1	Q 700.00	Q 700.00
				TOTAL	Q 4,640.00

Cuadro #27: Depreciación de todo el equipo por el método SMARC

Año	Depreciación total por año
0	Q0.00
1	Q38,679.33
2	Q69,622.80
3	Q55,698.24
4	Q44,558.59
5	Q35,662.35
6	Q28,506.67
7	Q25,334.96
8	Q25,334.96
9	Q25,334.96
10	Q25,334.96
11	Q12,686.82

Cuadro #28: Galones producidos al año de biodiesel y Glicerina

Producto	Litros Producidos	Galones Producidos
Biodiesel	362,709.66	79,787
Glicerol	134,152.89	29,510

Cuadro #29: Salarios de los operarios

OPERARIOS	CANTIDAD	SALARIO MENSUAL	SALARIO ANUAL	IGSS	IRTRA	INTECAP	BONO DECRETO	AGUINALDO	PASIVO LABORAL	BONO 14	SALARIO EMPRESA
OPERARIO	3	Q 3,900.00	Q6,800.00	Q 140.79	Q 13.00	Q 13.00	Q 250.00	Q 325.00	Q 325.00	Q 325.00	Q 5,041.79

Cuadro #30: Consumo eléctrico de la planta

Consumo eléctrico						
Unidades	Equipo	Potencia HP	Potencia KW	Horas de trabajo (mes)	KW/mes	Costo eléctrico (año)
2	Agitadores	2	2	140.4	421	Q5,559.84
1	Compresor de aire	3	2	720	1440	Q19,008.00
1	Panel de control	1	1	720	720	Q9,504.00
					Total anual	Q34,071.84

Cuadro #31: Consumo de vapor por medio de caldera tipo Bunker

Consumo de vapor caldera Bunker					
Unidades	Equipo	Masa (kg)	Masa total	Costo de vapor	Costo vapor (año)
1440	Tanque de aceite de Palma	114.9766	165566.304	0.2201	Q36,441.14
1440	Reactor de Metóxido	0.5144	740.7444992	0.2201	Q163.04
1440	Reactor de biodiesel	1.7147	2469.148331	0.2201	Q543.46
				Total anual	Q445,771.69

Cuadro #32: Consumo de vapor por medio de caldera tipo biomasa

Consumo de vapor caldera biomasa					
Unidades	Equipo	Masa (kg)	Masa total	Costo de vapor	Costo vapor (año)
1440	Tanque de aceite de Palma	114.9766	165566.304	0.0294	Q4,859.37
1440	Reactor de Metóxido	0.5144	740.7444992	0.0294	Q21.74
1440	Reactor de Biodiesel	1.7147	2469.148331	0.0294	Q72.47
				Total anual	Q59,442.98

Cuadro #33: Préstamo para la elaboración del proyecto

TASA	18.00%
------	--------

AÑO	SALDO DEUDA	CUOTA	INTERES	AMORTIZACIÓN	INTERES NETO IMPUESTO	CUOTA NETA DE IMPUESTO
1	Q 500,000.00	Q 111,257.32	Q 90,000.00	Q 21,257.32	Q 74,700.00	Q 95,957.32
2	Q 478,742.68	Q 111,257.32	Q 86,173.68	Q 25,083.64	Q 71,524.16	Q 96,607.79
3	Q 453,659.04	Q 111,257.32	Q 81,658.63	Q 29,598.69	Q 67,776.66	Q 97,375.35
4	Q 424,060.35	Q 111,257.32	Q 76,330.86	Q 34,926.46	Q 63,354.62	Q 98,281.07
5	Q 389,133.89	Q 111,257.32	Q 70,044.10	Q 41,213.22	Q 58,136.60	Q 99,349.82
6	Q 347,920.67	Q 111,257.32	Q 62,625.72	Q 48,631.60	Q 51,979.35	Q 100,610.95
7	Q 299,289.07	Q 111,257.32	Q 53,872.03	Q 57,385.29	Q 44,713.79	Q 102,099.08
8	Q 241,903.78	Q 111,257.32	Q 43,542.68	Q 67,714.64	Q 36,140.42	Q 103,855.06
9	Q 174,189.14	Q 111,257.32	Q 31,354.05	Q 79,903.28	Q 26,023.86	Q 105,927.13
10	Q 94,285.86	Q 111,257.32	Q 16,971.46	Q 94,285.86	Q 14,086.31	Q 108,372.17

Cuadro #34: Costos de materias primas con aceite de Palma de Reproceso

Materias primas Reproceso			
	Cantidad	Precio unitario	Costo
Aceite de palma	95040	Q3.33	Q316,483.20
Metanol	14256	Q33.00	Q470,448.00
Hidróxido de Sodio	3024	Q8.40	Q25,401.60

Costo total	Q812,332.80
-------------	-------------

Cuadro #35: Costos de materias primas con aceite de Palma Caducado

Materias primas caducado			
	Cantidad	Precio unitario	Costo
Aceite de palma	95040	Q0.50	Q47,520.00
Metanol	14256	Q33.00	Q470,448.00
Hidróxido de Sodio	3024	Q8.40	Q25,401.60

Costo total	Q543,369.60
-------------	-------------

Cuadro #36: Costo de utilitarios necesario para el diseño de la planta

Utilitarios			
	Rango	Porcentaje utilizado	Costo estimado
Almacenamiento de producto terminado	0.07-2.4%	2.00%	Q 30,000.00
Almacenamiento de materia prima	0.03-3.2%	0.10%	Q 1,500.00
Distribución eléctrica	0.04-2.1%	1.50%	Q 22,500.00
Comunicaciones	0.1-0.3%	0.10%	Q 1,500.00
		Total	Q 55,500.00

Cuadro #37: Costos para el ahorro de aceite de Palma de Reproceso utilizando caldera tipo Bunker

Costos para el ahorro en Reproceso utilizando caldera Bunker			
Producto	Galones al mes	Galones al año	Costo
Diesel 85%	37400	448800	Q6,732,000.00
Biodiesel 15%	6600	31680	Q688,668.25
		Total	Q7,420,668.25

Cuadro #38: Costos para el ahorro de aceite de Palma de Reproceso utilizando caldera tipo biomasa

Costos para el ahorro en Reproceso utilizando caldera biomasa			
Producto	Galones al mes	Galones al año	Costo
Diesel 85%	37400	448800	Q6,732,000.00
Biodiesel 15%	6600	31680	Q535,273.67
		Total	Q7,267,273.67

Cuadro #39: Costos para el ahorro de aceite d Palma Caducado utilizando caldera tipo Bunker

Costos para el ahorro en Caducado utilizando caldera Bunker			
Producto	Galones al mes	Galones al año	Costo
Diesel 85%	37400	448800	Q6,732,000.00
Biodiesel 15%	6600	31680	Q581,874.49
		Total	Q7,313,874.49

Cuadro #40: Costos para el ahorro de aceite de Palma Caducado utilizando caldera tipo biomasa

Costos para el ahorro en Caducado utilizando caldera biomasa			
Producto	Galones al mes	Galones al año	Costo
Diesel 85%	37400	448800	Q6,732,000.00
Biodiesel 15%	6600	31680	Q428,479.90
		Total	Q7,160,479.90

Cuadro #41: Costo de planta de reproceso con caldera tipo Bunker

Costo de la planta Reproceso con Bunker	
Personal	Q60,501.48
Utilitarios	Q55,500.00
Depreciación	Q457,247.61
Consumo eléctrico	Q34,071.84
Consumo vapor	Q445,771.69
Costos MP	Q812,332.80
Costo total	Q1,804,923.94

Cuadro #42: Costo de planta de reproceso con caldera tipo biomasa

Costo de la planta Reproceso por biomasa	
Personal	Q60,501.48
Utilitarios	Q55,500.00
Depreciación	Q457,247.61
Consumo eléctrico	Q34,071.84
Consumo vapor	Q59,442.98
Costos MP	Q812,332.80
Costo total	Q1,418,595.23

Cuadro #43: Costo de planta Caducado con caldera tipo Bunker

Costo de la planta Caducado por Bunker	
Personal	Q60,501.48
Utilitarios	Q55,500.00
Depreciación	Q457,247.61
Consumo eléctrico	Q34,071.84
Consumo vapor	Q445,771.69
Costos MP	Q543,369.60
Costo total	Q1,535,960.74

Cuadro #44: Costo de planta Caducado con caldera tipo biomasa

Costo de la planta Caducado por biomasa	
Personal	Q60,501.48
Utilitarios	Q55,500.00
Depreciación	Q457,247.61
Consumo eléctrico	Q34,071.84
Consumo vapor	Q59,442.98
Costos MP	Q543,369.60
Costo total	Q1,149,632.03

Cuadro #45: Flujo de caja utilizando aceite de Palma de Reproceso con vapor de caldera tipo Bunker

	0	1	2	3	4	5
Ingresos ventas		Q1,348,288.40	Q1,569,272.87	Q1,826,476.69	Q2,125,836.22	Q2,474,260.78
Ingresos ahorro		Q471,342.02	Q548,594.97	Q638,509.69	Q743,161.43	Q864,965.59
Costo variable		(Q1,292,176.33)	(Q1,460,159.25)	(Q1,649,979.96)	(Q1,864,477.35)	(Q2,106,859.41)
Costo fijo		(Q65,141.48)	(Q73,609.87)	(Q83,179.16)	(Q93,992.45)	(Q106,211.46)
Depreciación de construcción		(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
Depreciación de maquinaria		(Q45,729.33)	(Q82,312.80)	(Q65,850.24)	(Q52,680.19)	(Q42,162.45)
Intereses sobre prestamos		(Q90,000.00)	(Q86,173.68)	(Q81,658.63)	(Q76,330.86)	(Q70,044.10)
Utilidad		Q322,309.02	Q411,337.98	Q580,044.15	Q777,242.54	Q1,009,674.69
Impuesto		(Q99,915.80)	(Q127,514.77)	(Q179,813.69)	(Q240,945.19)	(Q312,999.15)
Utilidad neta		Q222,393.22	Q283,823.20	Q400,230.46	Q536,297.35	Q696,675.54
Depreciación de construcción		Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Depreciación de maquinaria		Q45,729.33	Q82,312.80	Q65,850.24	Q52,680.19	Q42,162.45
Mobiliario	(Q4,640.00)					
Construcción	(Q142,475.15)					
Maquinaria	(Q723,837.14)					
Capital de trabajo	(Q1,000,000.00)					
Préstamo	Q500,000.00					
Utilitarios	(Q55,500.00)					
Abono a capital (amortización)		(Q21,257.32)	(Q25,083.64)	(Q29,598.69)	(Q34,926.46)	(Q41,213.22)
Imprevistos	(Q75,000.00)					
Abono a capital de trabajo		Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Flujo	(Q1,501,452.29)	Q351,139.49	Q445,326.62	Q540,756.26	Q658,325.34	Q801,899.02

6	7	8	9	10
Q2,879,792.12	Q3,351,790.05	Q3,901,148.44	Q4,540,546.67	Q5,284,742.27
Q1,006,733.45	Q1,171,737.06	Q1,363,784.76	Q1,587,309.08	Q1,847,469.04
(Q2,380,751.13)	(Q2,690,248.78)	(Q3,039,981.12)	(Q3,435,178.66)	(Q3,881,751.89)
(Q120,018.95)	(Q135,621.42)	(Q153,252.20)	(Q173,174.99)	(Q195,687.74)
(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
(Q33,702.52)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)
(Q62,625.72)	(Q53,872.03)	(Q43,542.68)	(Q31,354.05)	(Q16,971.46)
Q1,285,152.99	Q1,609,557.91	Q1,993,930.23	Q2,453,921.08	Q3,003,573.26
(Q398,397.43)	(Q498,962.95)	(Q618,118.37)	(Q760,715.54)	(Q931,107.71)
Q886,755.56	Q1,110,594.96	Q1,375,811.86	Q1,693,205.55	Q2,072,465.55
Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Q33,702.52	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71
(Q48,631.60)	(Q57,385.29)	(Q67,714.64)	(Q79,903.28)	(Q94,285.86)
Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Q976,100.73	Q1,187,436.64	Q1,442,324.19	Q1,747,529.24	Q2,112,406.65

Cuadro #46: Flujo de caja utilizando aceite de Palma de Reproceso con vapor de caldera tipo biomasa

	0	1	2	3	4	5
Ingresos ventas		Q1,348,288.40	Q1,569,272.87	Q1,826,476.69	Q2,125,836.22	Q2,474,260.78
Ingresos ahorro		Q624,736.60	Q727,130.93	Q846,307.69	Q985,017.52	Q1,146,461.89
Costo variable		(Q905,847.62)	(Q1,023,607.81)	(Q1,156,676.82)	(Q1,307,044.81)	(Q1,476,960.63)
Costo fijo		(Q65,141.48)	(Q73,609.87)	(Q83,179.16)	(Q93,992.45)	(Q106,211.46)
Depreciación de construcción		(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
Depreciación de maquinaria		(Q45,729.33)	(Q82,312.80)	(Q65,850.24)	(Q52,680.19)	(Q42,162.45)
Intereses sobre prestamos		(Q90,000.00)	(Q86,173.68)	(Q81,658.63)	(Q76,330.86)	(Q70,044.10)
Utilidad		Q862,032.32	Q1,026,425.38	Q1,281,145.28	Q1,576,531.18	Q1,921,069.77
Impuesto		(Q267,230.02)	(Q318,191.87)	(Q397,155.04)	(Q488,724.67)	(Q595,531.63)
Utilidad neta		Q594,802.30	Q708,233.51	Q883,990.24	Q1,087,806.51	Q1,325,538.14
Depreciación de construcción		Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Depreciación de maquinaria		Q45,729.33	Q82,312.80	Q65,850.24	Q52,680.19	Q42,162.45
Mobiliario	(Q4,640.00)					
Construcción	(Q142,475.15)					
Maquinaria	(Q723,837.14)					
Capital de trabajo	(Q1,000,000.00)					
Préstamo	Q500,000.00					
Utilitarios	(Q55,500.00)					
Abono a capital (amortización)		(Q21,257.32)	(Q25,083.64)	(Q29,598.69)	(Q34,926.46)	(Q41,213.22)
Imprevistos	(Q75,000.00)					
Abono a capital de trabajo		Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Flujo	(Q1,501,452.29)	Q723,548.57	Q869,736.93	Q1,024,516.05	Q1,209,834.50	Q1,430,761.62

6	7	8	9	10
Q2,879,792.12	Q3,351,790.05	Q3,901,148.44	Q4,540,546.67	Q5,284,742.27
Q1,334,367.00	Q1,553,069.75	Q1,807,617.88	Q2,103,886.45	Q2,448,713.44
(Q1,668,965.52)	(Q1,885,931.03)	(Q2,131,102.07)	(Q2,408,145.34)	(Q2,721,204.23)
(Q120,018.95)	(Q135,621.42)	(Q153,252.20)	(Q173,174.99)	(Q195,687.74)
(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
(Q33,702.52)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)
(Q62,625.72)	(Q53,872.03)	(Q43,542.68)	(Q31,354.05)	(Q16,971.46)
Q2,324,572.15	Q2,795,208.34	Q3,346,642.40	Q3,997,531.78	Q4,765,365.31
(Q720,617.37)	(Q866,514.59)	(Q1,037,459.14)	(Q1,239,234.85)	(Q1,477,263.25)
Q1,603,954.78	Q1,928,693.76	Q2,309,183.25	Q2,758,296.93	Q3,288,102.06
Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Q33,702.52	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71
(Q48,631.60)	(Q57,385.29)	(Q67,714.64)	(Q79,903.28)	(Q94,285.86)
Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Q1,693,299.96	Q2,005,535.44	Q2,375,695.58	Q2,812,620.62	Q3,328,043.17

Cuadro #47: Flujo de caja utilizando aceite de Palma Caducado con vapor de caldera tipo Bunker

	0	1	2	3	4	5
Ingresos ventas		Q1,348,288.40	Q1,569,272.87	Q1,826,476.69	Q2,125,836.22	Q2,474,260.78
Ingresos ahorro		Q578,135.78	Q672,892.24	Q783,179.28	Q911,542.36	Q1,060,944.15
Costo variable		(Q1,023,213.13)	(Q1,156,230.84)	(Q1,306,540.85)	(Q1,476,391.16)	(Q1,668,322.01)
Costo fijo		(Q65,141.48)	(Q73,609.87)	(Q83,179.16)	(Q93,992.45)	(Q106,211.46)
Depreciación de construcción		(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
Depreciación de maquinaria		(Q45,729.33)	(Q82,312.80)	(Q65,850.24)	(Q52,680.19)	(Q42,162.45)
Intereses sobre prestamos		(Q90,000.00)	(Q86,173.68)	(Q81,658.63)	(Q76,330.86)	(Q70,044.10)
Utilidad		Q698,065.98	Q839,563.66	Q1,068,152.84	Q1,333,709.67	Q1,644,190.66
Impuesto		(Q216,400.45)	(Q260,264.73)	(Q331,127.38)	(Q413,450.00)	(Q509,699.10)
Utilidad neta		Q481,665.53	Q579,298.92	Q737,025.46	Q920,259.67	Q1,134,491.55
Depreciación de construcción		Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Depreciación de maquinaria		Q45,729.33	Q82,312.80	Q65,850.24	Q52,680.19	Q42,162.45
Mobiliario	(Q4,640.00)					
Construcción	(Q142,475.15)					
Maquinaria	(Q723,837.14)					
Capital de trabajo	(Q1,000,000.00)					
Préstamo	Q500,000.00					
Utilitarios	(Q55,500.00)					
Abono a capital (amortización)		(Q21,257.32)	(Q25,083.64)	(Q29,598.69)	(Q34,926.46)	(Q41,213.22)
Imprevistos	(Q75,000.00)					
Abono a capital de trabajo		Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Flujo	(Q1,501,452.29)	Q610,411.80	Q740,802.34	Q877,551.26	Q1,042,287.66	Q1,239,715.03

6	7	8	9	10
Q2,879,792.12	Q3,351,790.05	Q3,901,148.44	Q4,540,546.67	Q5,284,742.27
Q1,234,832.90	Q1,437,222.01	Q1,672,782.70	Q1,946,951.78	Q2,266,057.18
(Q1,885,203.87)	(Q2,130,280.37)	(Q2,407,216.82)	(Q2,720,155.01)	(Q3,073,775.16)
(Q120,018.95)	(Q135,621.42)	(Q153,252.20)	(Q173,174.99)	(Q195,687.74)
(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
(Q33,702.52)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)
(Q62,625.72)	(Q53,872.03)	(Q43,542.68)	(Q31,354.05)	(Q16,971.46)
Q2,008,799.70	Q2,435,011.27	Q2,935,692.46	Q3,528,587.44	Q4,230,138.12
(Q622,727.91)	(Q754,853.49)	(Q910,064.66)	(Q1,093,862.11)	(Q1,311,342.82)
Q1,386,071.79	Q1,680,157.77	Q2,025,627.80	Q2,434,725.33	Q2,918,795.31
Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Q33,702.52	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71
(Q48,631.60)	(Q57,385.29)	(Q67,714.64)	(Q79,903.28)	(Q94,285.86)
Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Q1,475,416.97	Q1,756,999.45	Q2,092,140.13	Q2,489,049.03	Q2,958,736.41

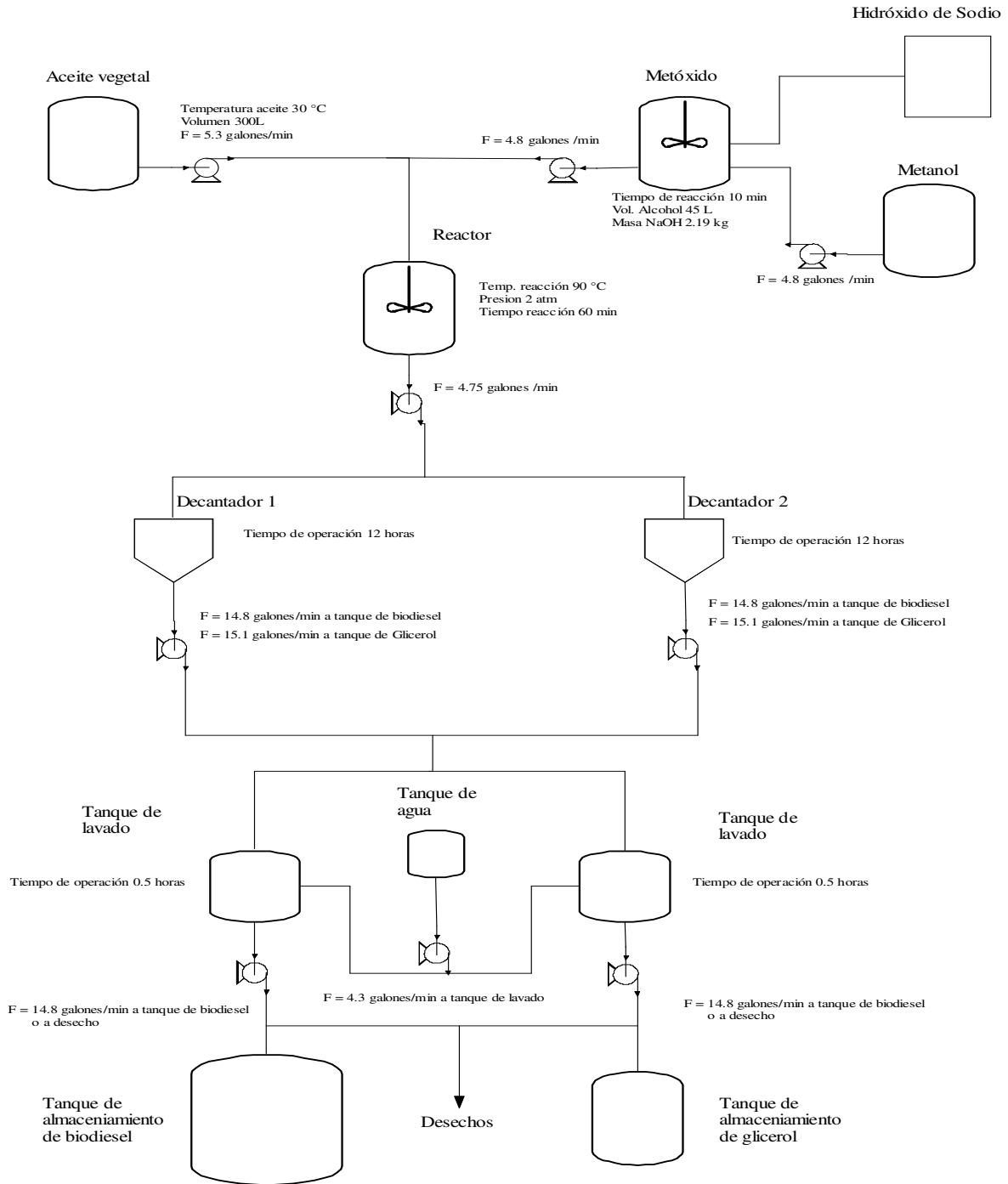
Cuadro #48: Flujo de caja utilizando aceite de Palma Caducado con vapor de caldera tipo biomasa

	0	1	2	3	4	5
Ingresos ventas		Q1,348,288.40	Q1,569,272.87	Q1,826,476.69	Q2,125,836.22	Q2,474,260.78
Ingresos ahorro		Q731,530.37	Q851,428.19	Q990,977.27	Q1,153,398.45	Q1,342,440.46
Costo variable		(Q636,884.42)	(Q719,679.39)	(Q813,237.71)	(Q918,958.61)	(Q1,038,423.23)
Costo fijo		(Q65,141.48)	(Q73,609.87)	(Q83,179.16)	(Q93,992.45)	(Q106,211.46)
Depreciación de construcción		(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
Depreciación de maquinaria		(Q45,729.33)	(Q82,312.80)	(Q65,850.24)	(Q52,680.19)	(Q42,162.45)
Intereses sobre prestamos		(Q90,000.00)	(Q86,173.68)	(Q81,658.63)	(Q76,330.86)	(Q70,044.10)
Utilidad		Q1,237,789.28	Q1,454,651.06	Q1,769,253.98	Q2,132,998.30	Q2,555,585.74
Impuesto		(Q383,714.68)	(Q450,941.83)	(Q548,468.73)	(Q661,229.47)	(Q792,231.58)
Utilidad neta		Q854,074.60	Q1,003,709.23	Q1,220,785.24	Q1,471,768.83	Q1,763,354.16
Depreciación de construcción		Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Depreciación de maquinaria		Q45,729.33	Q82,312.80	Q65,850.24	Q52,680.19	Q42,162.45
Mobiliario	(Q4,640.00)					
Construcción	(Q142,475.15)					
Maquinaria	(Q723,837.14)					
Capital de trabajo	(Q1,000,000.00)					
Préstamo	Q500,000.00					
Utilitarios	(Q55,500.00)					
Abono a capital (amortización)		(Q21,257.32)	(Q25,083.64)	(Q29,598.69)	(Q34,926.46)	(Q41,213.22)
Imprevistos	(Q75,000.00)					
Abono a capital de trabajo		Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Flujo	(Q1,501,452.29)	Q982,820.87	Q1,165,212.65	Q1,361,311.05	Q1,593,796.82	Q1,868,577.64

6	7	8	9	10
Q2,879,792.12	Q3,351,790.05	Q3,901,148.44	Q4,540,546.67	Q5,284,742.27
Q1,562,466.45	Q1,818,554.70	Q2,116,615.81	Q2,463,529.14	Q2,867,301.57
(Q1,173,418.25)	(Q1,325,962.63)	(Q1,498,337.77)	(Q1,693,121.68)	(Q1,913,227.50)
(Q120,018.95)	(Q135,621.42)	(Q153,252.20)	(Q173,174.99)	(Q195,687.74)
(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)	(Q4,274.25)
(Q33,702.52)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)	(Q29,952.71)
(Q62,625.72)	(Q53,872.03)	(Q43,542.68)	(Q31,354.05)	(Q16,971.46)
Q3,048,218.86	Q3,620,661.70	Q4,288,404.63	Q5,072,198.13	Q5,991,930.18
(Q944,947.85)	(Q1,122,405.13)	(Q1,329,405.44)	(Q1,572,381.42)	(Q1,857,498.36)
Q2,103,271.02	Q2,498,256.57	Q2,958,999.19	Q3,499,816.71	Q4,134,431.82
Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25	Q4,274.25
Q33,702.52	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71	Q29,952.71
(Q48,631.60)	(Q57,385.29)	(Q67,714.64)	(Q79,903.28)	(Q94,285.86)
Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00	Q100,000.00
Q2,192,616.19	Q2,575,098.25	Q3,025,511.52	Q3,554,140.40	Q4,174,372.93


Diagrama de flujo

Gráfico #3: Diagrama de flujo de la planta de biodiesel



Cotizaciones

Gráfico #4: Cotización bomba neumática de 15.5 galones/min



Guatemala, 29 de Noviembre de 2,007

COTIZACION

SEÑORES
 Universidad Del Valle de Guatemala
 Presente

TEL: 5608-1483

Attn: Luis Martinez
 Ref: BOMBA WILDEN PARA GLICERINA/ BIODIESEL

COTIZACION			
Cantidad	Descripción	Unitario	Total
1	Bomba WILDEN de doble diafragma operada por aire con las siguientes características: Modelo: P1/AAPPP/BNS/BN/ABN (01-2653) Capacidad Máxima de Trasiego: 15.5 GPM Construcción cuerpo de la bomba: Aluminio Diafragmas: Buna Válvulas de Bola: Buna Válvulas de Asiento: Aluminio Cámara de Aire: Polipropileno Presión Máxima de trabajo: 125 psi Sistema de Distribución de Aire: Pro-Flo (Libre de lubricación y congelamiento con mejor eficiencia) Succión y Descarga: 1/2" x 1/2" Consumo Mínimo de Aire: 4 SCFM Consumo Máximo de Aire: 16 SCFM Paso Máximo de sólidos: (1.6 mm) 1/16" Peso: 13 Lb..	Q 5,500.00	Q 5,500.00
2		Total Con Iva Q 5,500.00	

En Letras: Cinco Mil Quientos Quetzales 00/100

Nota:
 Tiempo de entrega : Inmediato
 Forma de Pago : A Convenir


 Edgar A. Chacón
 Asesor de Proyectos
 echacon@hidasa.com
 Cel. 5208 6122

Gráfico #5: Cotización bomba neumática de 5 galones/min



Guatemala, 29 de Noviembre de 2.007

COTIZACION

SEÑORES

Universidad Del Valle de Guatemala

TEL: 5608-1483

Presente

Attn: Luis Martinez

Ref: BOMBA WILDEN PARA METANOL / BIODIESEL / ACEITE VEGETAL

COTIZACION

Cantidad	Descripción	Unitario	Total
1	<p>Bomba WILDEN de doble diafragma operada por aire con las siguientes características: Modelo: P_025/AZPPP/TNL/TF/ATF(00-9728) Capacidad Máxima de Traslado: 5 GPM Construcción cuerpo de la bomba: Aluminio Diafragmas: Teflón Válvulas de Bola: Teflón Válvulas de Asiento: Teflón Cámara de Aire: Polipropileno Presión Máxima de trabajo: 125 psi Sistema de Distribución de Aire: Pro-Flo (Libre de lubricación y congelamiento con mejor eficiencia) Succión y Descarga: 1/4" x 1/4" Consumo Mínimo de Aire: 1 SCFM Consumo Máximo de Aire: 5 SCFM Paso Máximo de sólidos: (0.4 mm) 1/64" Peso: 4 Lb..</p>	Q 3,500.00	Q 3,500.00
2			
		Total Con Iva	Q 3,500.00
En Letras: Tres Mil Quinientos Quetzales 00/100			

Nota:

Tiempo de entrega : Inmediato

Forma de Pago : A Convenir

Edgar A. Chacón
 Asesor de Proyectos
echacon@hidasa.com
 Cel. 5208 6122

Gráfico #6: Cotización de materia prima

De: Distribuidora Richard [mailto:distribuidora.richard@hotmail.com]
Enviado el: Saturday, November 17, 2007 2:53 PM
Para: luis_rolando@hotmail.com
Asunto: DISTRIBUIDORA RICHARD
Importancia: Alta

SR. LUIS MARTINEZ.
QUE TAL COMO ESTA, DISCULPE LA DEMORA, ACONTINUACION LE MANDO LA
COTIZACION QUE ME HABIA PEDIDO.

ALCOHOL METILICO (METHANOL) Q1,815.00 TONEL DE 55 GLNS. S/E
HIDROXIDO DE SODIO Q14.00 KL. Q 210.00 SACO DE 25 KLS.

DE ANTEMANO MIL GRACIAS POR SU PREFERENCIA, QUEDAMOS EN ESPERA DE SU
RESPUESTA.

ATTE. KARINA

Gráfico #7: Cotización de construcción de la planta de biodiesel

ÁREA PARA RECUPERACIÓN DE PRODUCTO

Bodega de 10.00 x 15.00 área 150 m2
--

MATERIALES

Cantidad	Descripción	Precio	Total
1	Estructura metálica de vigas I	Q 58,500.00	Q 58,500.00
1400	Block de 15 x 20 x 40	Q 2.70	Q 3,780.00
275	bolsas de cemento	Q 39.00	Q 10,725.00
25	metros cúbicos de arena de rio	Q 70.00	Q 1,750.00
25	metros cúbicos de piedrín de 1/2	Q 135.00	Q 3,375.00
10	quintales de hierro de 1/2"	Q 250.00	Q 2,500.00
6	quintales de hierro de 3/8"	Q 250.00	Q 1,500.00
4	quintales de hierro de 1/4"	Q 250.00	Q 1,000.00
70	libras de alambre de amarre	Q 2.75	Q 192.50
45	lamina troquelada I-72 x 20'	Q 175.00	Q 7,875.00
12	laminas lisas galvanizadas cal 24	Q 150.00	Q 1,800.00
350	tornillo polster de 1/4 x 4	Q 2.00	Q 700.00
18	costaneras de 2 x 4x 1/16	Q 85.00	Q 1,530.00
15	planchas de electromalla de 1/4"	Q 205.00	Q 3,075.00
3	lamina de ac de 4 x 8 x 1/16	Q 238.00	Q 714.00
1	chapa yale	Q 150.00	Q 150.00
4	angular de 2 x 2 hn	Q 155.00	Q 620.00
1	iluminación	Q 11,000.00	Q 11,000.00
30	costaneras de 2 x 4x 1/16	85.00 Q	2,550.00 Q
1	pintura general de las aéreas	Q 6,550.00	Q 6,550.00
	Total		Q119,886.50
	Imprevistos 10%		Q11,988.65
	TOTAL		Q131,875.15

MANO DE OBRA

1	Albañiles	Q 3,650.00	Q 3,650.00
1	ayudantes	Q 1,650.00	Q 1,650.00
1	Soldador	Q 3,650.00	Q 3,650.00
1	ayudante	Q 1,650.00	Q 1,650.00
			Q 10,600.00

Tiempo de entrega 30 días

TOTAL

Q 142,475.15

Gráfico #8: Calor específico del aceite de Palma Africana






LABORATORIO TECNICO	MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS REPUBLICA DE GUATEMALA	 PAGINA 1 DE (1) LAB-REP-1280-07 ORDEN No. L-583-07 GUATEMALA, 23-11-07	
RESULTADOS DE ANALISIS			
MUESTRA: Super Esterina T1003 PRESENTADA POR: Marta Salvatierra RESPONSABLE DEL MUESTREO: Marta Salvatierra PROCEDENCIA: UVG/Marta Salvatierra LOCALIZACION: Lote 6, manzana B, sector 3A, Km. 16.5, Carretera a El Salvador FECHA DE MUESTREO: Desconocida FECHA DE RECEPCION DE MUESTRA Y PAPELERIA: 12-11-07 FECHA DE ANALISIS: del 20 al 23-11-07 PRECIO DE ANALISIS: \$ 12.00 ANALISTA: Julio Villacinda			
DESCRIPCION	METODO DE ANALISIS	ESPECIFICACION (a)	RESULTADOS (b)
CALOR DE COMBUSTION SUPERIOR, MJ/kg	ASTM D-240	-----	(c) 39.28
OBSERVACIONES: <ul style="list-style-type: none"> a) En el Acuerdo Ministerial No. 192-2006, no existen especificaciones para este producto b) El resultado es válido solo para el volumen de muestra presentada en este laboratorio c) 39.28 MJ/Kg es equivalente a 9382 Kcal/kg y a 16887 Btu/lb. Como referencia se calculó el poder calorífico inferior utilizando una gráfica (disponible en el laboratorio) y es de 40 MJ/kg 			
<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 Villacinda COORDINADORA LABORATORIOS TECNICOS </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>			

Gráfico #9: Factores de estimación para una planta

TABLE 9-53 Estimate Using Factors from Table 9-51

Details (solids-fluid, grass-roots plant)	Factor assumed	Cost, \$	Percentage of total
Equipment, delivered	1.00	1,000,000	23.4
Installed	0.41	410,000	9.6
Piping	0.34	340,000	8.0
Electrical	0.13	130,000	3.0
Instruments	0.13	130,000	3.0
Battery-limit building and service	0.30	300,000	7.0
Excavation and site preparation	0.15	150,000	3.5
Auxiliaries	0.52	520,000	12.2
Total physical plant	2.98	2,980,000	69.7
Field expense	0.39	390,000	9.1
Engineering	0.39	390,000	9.1
Direct plant costs	3.76	3,760,000	87.9
Contractor's fees, overhead, profit	0.13	130,000	3.0
Contingency	0.39	390,000	9.1
Total fixed-capital investment	4.28	4,280,000	100.0

(Perry, 1999)

Gráfico #10: Valores tabla de depreciación SMARC

Tasa de depreciación (%) para cada período de recuperación SMARC en años						
Año	n = 3	n = 5	n = 7	n = 10	n = 15	N = 20
1	33.33	20	14.29	10	5	3.75
2	44.45	32	24.49	18	9.5	7.22
3	14.81	19.2	17.49	14.4	8.55	6.68
4	7.41	11.52	12.49	11.52	7.7	6.18
5		11.52	8.93	9.22	6.93	5.71
6			8.92	7.37	6.23	5.29
7			8.93	6.55	5.9	4.89
8		5.76	4.46	6.55	5.9	4.52
9				6.55	5.91	4.46
10				6.55	5.9	4.46
11					5.91	4.46
12					5.9	4.46
13				3.28	5.91	4.46
14					5.9	4.46
15					5.91	4.46
16						4.46
17 - 20					2.95	4.46
21						2.23

(Blank, 2002)